

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA:

INGENIERÍA ELÉCTRICA

TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO

TEMA:

**MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DEL
HOSPITAL GINECO OBSTÉTRICO PEDIÁTRICO DE NUEVA AURORA
“LUZ ELENA ARISMENDI” MEDIANTE LA INSERCIÓN DE BOBINAS DE
CHOQUE**

AUTOR:

PABLO MIGUEL GUALOTUÑA PACHACAMA

TUTOR:

SILVANA FABIOLA VARELA CHAMORRO

Quito D.M., marzo del 2022

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, Pablo Miguel Gualotuña Pachacama, con documento de identificación N.º 172513263-1, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DEL HOSPITAL GINECO OBSTÉTRICO PEDIÁTRICO DE NUEVA AURORA “LUZ ELENA ARISMENDI” MEDIANTE LA INSERCIÓN DE BOBINAS DE CHOQUE., mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Pablo Miguel Gualotuña Pachacama
CI. 1725132631
Quito D.M., marzo de 2022

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, Silvana Fabiola Varela Chamorro declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, MEJORAMIENTO DE LOS SISTEMAS DE PUESTA A TIERRA DEL HOSPITAL GINECO OBSTÉTRICO PEDIÁTRICO DE NUEVA AURORA “LUZ ELENA ARISMENDI” MEDIANTE LA INSERCIÓN DE BOBINAS DE CHOQUE, realizado por Pablo Miguel Gualotuña Pachacama, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito D.M., marzo de 2022



Silvana Fabiola Varela Chamorro
C.I. 1713565818

DEDICATORIA

Mi proyecto técnico va dedicado a mi padre y madre, los cuales son los que me apoyaron en todo momento los cuales me brindaron todo su tiempo y han sabido aconsejarme para lograr lo que un día me propuse, pese a las dificultades que me he encontrado en el camino de la vida, quienes velan por mí en los momentos malos y están cuando más yo los necesitaba.

AGRADECIMIENTO

“Porque yo se los pensamientos que tengo acerca de vosotros, dice Jehová, pensamientos de paz y no de mal, para daros el fin que esperáis. Entonces me invocareis, y vendréis y orareis a mí, y yo os oiré; y me buscareis y me hallareis de todo vuestro corazón”.

Jeremías 29: 11- 13

Quiero comenzar dando gracias a Dios porque hasta este momento me ha brindado el regalo más precioso, que es la vida, para poder culminar con este proyecto técnico, también agradecer a mi padre y a mi madre quienes fueron pilares fundamentales de ejemplo y responsabilidad que me demostraron que si uno desea algo se lo puede conseguir con esfuerzo y determinación, quienes estuvieron en momentos de debilidad y supieron aconsejarme para mirar con una perspectiva diferente la realidad de la vida. Son ellos los que se merecen todos mis logros alcanzados durante todo el transcurso de mi vida, desde mi infancia hasta ahora en mi vida adulta.

ÍNDICE

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
GLOSARIO	xiii
RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo general	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
1.3 Alcance.....	2
1.4 Justificación.....	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Introducción a los SPT o Mallas	4
2.1.1 SPT o Mallas puestas a tierra	4
2.2 Tipos de SPT.....	6
2.3 Propósito de un SPT.....	6
2.3.1 Razones por las cuales se pone a tierra materiales que son conductivos. ...	7
2.4 Tipos de SPT	8
2.4.1 SPT física o sistema de barra de tierra.	8

2.4.2 SPT contra descargas atmosféricas o rayos	8
2.4.3 SPT de seguridad o tierra de equipo	9
2.4.4 Cable conectado a tierra	10
2.4.5 Tierra aislada	10
2.4.6 Tierra electrónica.	10
2.5 Equipos eléctricos conectados a tierra	11
2.5.1 Seguridad contra rayos.	12
2.6 Conexión efectiva a tierra	13
2.6.1 Funciones importantes de un SPT	14
2.6.2 Requisito que debe tener una malla a tierra	14
2.7 Sistemas y equipos que conforman SPT	14
2.7.1 Componentes que constituyen una malla de tierra.	15
2.7.2 Varilla de tierra o electrodos	16
2.7.3 Funciones de la varilla o electrodo de tierra	17
2.7.4 Conductor de tierra.	18
2.7.5 Conexiones	18
2.7.6 Conductor de protección	19
2.7.7 Cable de servicio	20
2.8 Mallas de tierra para hospitales	20
2.8.1 Consecuencia al no implementar un SPT	22
2.9 Exigencia de las mallas a tierra para hospitales	22
2.9.1 Recorrido efectivo de un SPT.	23
2.9.2 Tierra única y Equipotencialidad	24
2.9.3 Barra de cobre equipotencial.	28
2.9.4 Bobina de choque o vía de chispa.	30
2.9.5 Resistencia a tierra valores aceptables recomendados.	31

2.10 Efectos de sobretensiones	32
2.10.1 Efectos que causan los sobrevoltajes a la integridad personal.....	33
2.11 Normas	33
2.12 Resistividad del suelo.....	37
2.12.1 Definición.....	37
2.12.2 Factor o situación que merman la resistividad del suelo.	38
2.13 Mejoramiento del terreno o suelo con compuestos químicos.....	42
2.14 Criterio de voltajes tolerables.....	43
2.14.1 Voltajes de toque o contacto	43
2.14.2 Voltaje de paso	44
2.14.3 Duración de la falla o tiempo de falla (<i>tf</i>).	46
CAPÍTULO III.....	48
MARCO METODOLÓGICO.....	48
3.1 Metodología de medición de resistencia de las mallas a tierra del HGONA... 48	
3.1.1 Ubicación de las mallas.....	48
3.1.2 Ubicación de las mallas.....	48
3.2 Pinzas medidora de las resistencias a tierra	49
3.2.1 Distancia entre las pinzas de medición	49
3.2.2 Procedimiento en las mediciones.....	50
3.3 Mediciones obtenidas.....	53
3.4 SPT de los Pararrayos.	55
3.4.1 Medición de los SPT de los pararrayos.....	55
3.5 Criterios a considerar para diseñar un SPT basado en norma.....	57
3.5.1 Aspectos básicos de diseño.	57
3.5.2 Conexión.	57
3.6 Resistividad del suelo o terreno.	58
3.6.1 Utilización de los equipos	58

3.6.2 Método Wenner.....	60
3.7 Procedimiento.	61
3.7.1 Precauciones en las mediciones.	64
3.7.2 Resultados obtenidos.....	64
3.7.3 Resistividad del suelo-cálculos.	65
CAPÍTULO IV.....	68
DISEÑO	68
4.1 Equipotencialidad Bobinas de choque o vías de chispa.....	68
4.1.1 Diseño del SPT del HGONA lugar de estudio.....	70
4.1.2 Cálculo de la Icc máxima de malla.	72
4.1.3 Selección del conductor mínimo establecido.....	72
4.1.4 Diseño del SPT o malla según norma.	73
4.1.5 Resistencia del sistema o también denominado (RS).....	74
4.1.6 Calculo de valores de Voltaje de Toque y Voltaje de Paso	82
4.1.7 Análisis de resultados.....	87
4.2 Simulación y comparación de los resultados con la utilización del software CYMGrd	89
CAPÍTULO V	95
ANÁLISIS ECONÓMICO	95
CAPÍTULO VI.....	97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	97
6.1 Conclusiones	97
6.2 Recomendaciones.....	98
REFERENCIAS	99
ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema general de una malla de puesta a tierra.	4
Figura 2. Protecciones contra descargas eléctricas	5
Figura 3. Forma de onda inducida por la corriente de una descarga atmosférica.	12
Figura 4. Esquema de un SPT y su instalación.	15
Figura 5. Componentes que constituyen una malla a tierra.	16
Figura 6. Conexión atornillada.	19
Figura 7. Conexión exotérmica.....	19
Figura 8. Diagrama de puesta a tierra para Hospitales.	21
Figura 9. SPT o tierras separadas.....	25
Figura 10. Una sola tierra a nivel superficial.	26
Figura 11. Tierra única y equipotencializada.....	27
Figura 12. SPT esquema tridimensional de niveles.	28
Figura 13. Barra equipotencial.....	29
Figura 14. Bobina de choque	30
Figura 15. Bobina de choque o vía de chispa	31
Figura 16. Simbología tierra.	35
Figura 17. Terminal de equipotencialidad.	36
Figura 18. Resistividad del terreno.	37
Figura 19. Estratigrafía del suelo y su resistividad.	39
Figura 20. Resistividad en función de la Humedad.	40
Figura 21. Resistividad en función de los cambios estacionales	41
Figura 22. Ilustración del Voltaje o tensión de contacto.	44
Figura 23. Ilustración del voltaje o tensión de paso.....	45
Figura 24. Ubicación referencial de las mallas a tierra del HGONA	48
Figura 25. Pinzas amperimétricas.	49

Figura 26. Distancia entre pinzas para la medición de las mallas.	50
Figura 27. Limpieza de los pozos de revisión de las mallas.	51
Figura 28. Conexión de los cables al telurómetro y selección de 3 polos	52
Figura 29. Pozos de revisión de las mallas de los pararrayos del HGONA.....	56
Figura 30. Equipo de medición.....	59
Figura 31. Elementos indispensables para el telurómetro.	59
Figura 32. Método de Wenner	60
Figura 33. Esquema de medición a una distancia de 2 m entre electrodos.....	62
Figura 34. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 4 m.....	62
Figura 35. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 6 m.....	63
Figura 36. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 8m.....	63
Figura 37. Datos ingresados de la resistividad aparente y la distancia entre electrodos	66
Figura 38. Curva de la resistividad del suelo con electrodos enterrados a diferentes longitudes.....	67
Figura 39. Ubicación del HGONA	71
Figura 40. Datos de placa del transformador que se encuentra en el HGONA.	71
Figura 41. Diseño, geometría, y ubicación de los electrodos en la malla.....	74
Figura 42. Curvas A, B, C, para el cálculo del coeficiente K1	77
Figura 43. Curvas A, B, C, para el cálculo del coeficiente K2	78
Figura 44. Diseño de la malla en el programa CYMGrd.....	90
Figura 45. Diseño de la malla y bajo análisis de la misma.	91
Figura 46. Resultados obtenidos del programa.....	92
Figura 47. Niveles de umbral del potencial permitido para VToque y Vpaso	93
Figura 48. Niveles de umbral del potencial permitido para VToque y Vpaso	93
Figura 49. Niveles de umbral del potencial de superficie.....	94
Figura 50. Niveles de umbral del potencial de superficie.....	94

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones de las varillas copperweld	17
Tabla 2. valores de resistencia aceptables recomendable.	32
Tabla 3. Constantes o factores K en función del peso corporal.	46
Tabla 4. Resultados de resistencia obtenido de las mallas con el telurómetro FLUKE	53
Tabla 5. Calidad de los SPT	54
Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos con la calidad de los SPT	54
Tabla 7. Comparación de los SPT de los pararrayos con la calidad de la resistencia requerida.....	56
Tabla 8. Resultados de campo obtenidos del hospital HGONA	64
Tabla 9. Resistividad calculada en base a la Tabla 15.	66
Tabla 10. Valores de factores encontrados para determinar V_m y V_s	87
Tabla 11. Coordenadas introducidas para el diseño de la malla.	90
Tabla 12. Comparación de los resultados obtenidos.	92
Tabla 13. Constante de los materiales	103
Tabla 14. Valores de resistividad en función del terreno	104
Tabla 15. Cables de cobre desnudo Clase B.	105
Tabla 16. Secciones nominales para conductores de protección	106
Tabla 17. Sección nominal para conductores de puesta a tierra de servicio	107
Tabla 18. Efectos de la corriente en el cuerpo humano	108
Tabla 19. Resistividad del suelo y el efecto de la temperatura	109
Tabla 20. Efectos de la salinidad en la resistividad del terreno	110
Tabla 21. Aplicación del gel aditivo según la dosis requerida con respecto a la resistividad del terreno	111
Tabla 22. Reducción de la resistencia con la aplicación del gel aditivo	112
Tabla 23. Valores de constante propios que son de la malla diseñada	113

Tabla 24. Factores o constantes de cálculo y su denominación matemática	114
Tabla 25. Cálculo del costo referencial 1	125
Tabla 26. Cálculo del costo referencial 4.....	126
Tabla 27. Cálculo del costo referencial 3.....	127

GLOSARIO

- **SPT:** Sistema de Puesta a Tierra, son componentes de los sistemas eléctricos, puesto que deben permitir la conducción hacia el suelo, de cargas eléctricas originadas por rayos, electricidad estática o fallas del sistema eléctrico [1].
- **GF:** Ground fault, es el nivel de riesgo relativo del peligro causado por un defecto a tierra [2].
- **HGONA:** Son las siglas predeterminadas para acortar el nombre de la institución denominada, Hospital Gineco Obstétrico Pediátrico de Nueva Aurora “Luz Elena Arismendi”.
- **NEC:** Es la Norma Ecuatoriana de Construcción, reglamento de seguridad que se aplica a las instalaciones de los sistemas de puesta a tierra [3].
- **NFPA:** National Fire Protection Association, es la norma que se aplica para la protección contra descargas atmosféricas.
- **Resistividad:** Es la resistencia que tiene el suelo al pasar una corriente por está presentando un valor mayor o menor a su flujo.
- **EEQ:** Empresa Eléctrica Quito, en su norma estipula la profundidad a la que debes estar enterrada un sistema de puesta a tierra.

RESUMEN

Es muy imprescindible que todas las infraestructuras o establecimientos con instalaciones eléctricas cuenten con un buen SPT, de tal manera que se tenga como objetivo principal proteger la integridad total física de los usuarios, debido al momento de ocurrir sobretensiones o eventos de falla en el sistema eléctrico puede afectar de manera considerable a la integridad física de sus usuarios, de equipos eléctricos y electrónicos que se encuentren en la misma, haciendo mención a los equipos electrónicos, estas fallas pueden acortar la durabilidad y buen funcionamiento de los mismos. Es necesario entonces que un buen SPT este en la capacidad de despejar de forma inmediata estos eventos ocurridos ya sea por sobretensiones, eventos de falla o por descargas atmosféricas que se presentan en el medio ambiente.

El presente proyecto, tuvo como propósito diseñar un nuevo SPT para equipos sensibles del HGONA, que se basan en norma tales como la IEEE 80-2000, la cual nos menciona que para poder implementar un SPT se debe cumplir con los requisitos de tensión de paso y tensión de toque que estén dentro de los niveles tolerables o aceptables. Tomando como base para nuestro diseño los datos obtenidos en las mediciones de resistividad del suelo bajo estudio.

Dentro de este contexto también se menciona a las normativas NFPA, IEC y la NEC, las cuales hacen referencia a los niveles de calidad de los SPT que deben cumplir los diseños de las mallas a tierra, ya que para instalaciones hospitalarias los rangos de resistencia de las mallas instaladas deben ser menores o iguales a los 5 ohmios, dentro de las normativas también hacen hincapié que todas las infraestructuras metálicas o material conductor de electricidad se deben aterrizar a tierra o en otras palabras conectarlas al SPT, para evitar así accidentes de sobretensiones dentro del inmueble.

Es de vital importancia además que todos estos SPT estén interconectados y equipotencializadas con todas las mallas existentes, no dejando de lado los SPT de los pararrayos ya que esto también deberán ser conectados al SPT general.

Los resultados obtenidos en cuanto a las mediciones de la resistencia de las mallas existentes, reflejan una alta resistencia en comparación con las normativas, ya que se pudo evidenciar resistencias de más de 5 ohmios que están fuera de los límites establecidos. Para dar solución a este problema se realizó el diseño de un nuevo SPT,

lo cual ayudara a mejorar los niveles de resistencia de las mallas del hospital en cuestión.

ABSTRACT

It is very essential that all infrastructures or establishments with electrical installations have a good grounding system, so that the main objective is to safeguard the physical integrity of people, since when surges or failure events occur in the electrical system, it can considerably affect the physical integrity of people and electrical and electronic equipment that are in it, mentioning the electronic equipment, these failures can shorten the life and proper functioning of the same. It is necessary then that a good SPT is able to immediately clear these events occurred either by overvoltage's, failure events or atmospheric discharges that occur in the environment.

The purpose of this feasible project was to design a new SPT grounding system for sensitive equipment of the Nueva Aurora Luz Elena Arismendi Pediatric Obstetrics and Gynecology Hospital, based on standards such as IEEE 80-2000, which mentions that in order to implement an SPT it must meet the requirements of step and touch voltages that are within tolerable or acceptable levels. Taking as a basis for our data obtained in the resistivity measurements of the soil under study.

Within this context it is also mentioned the NFPA, IEC and NEC regulations, which refer to the quality levels of the SPT that must meet the designs of the grounding meshes, since for hospital facilities the resistance ranges of the installed meshes must be less than or equal to 5 ohms, within the regulations also emphasize that all metallic infrastructure or electrically conductive material must be grounded or in other words connected to the SPT, to avoid overvoltage accidents within the building.

It is also of vital importance that all these SPT are interconnected and equipontentionalized with all the existing meshes, not leaving aside the SPT of the lightning rods since they should also be connected to the general SPT.

The results obtained regarding the resistance measurements of the existing meshes reflect a high resistance in comparison with the standards, since resistances of more than 5 ohms were evidenced, which are out of the established limits. In order to solve this problem, a new SPT was designed, which will help to improve the resistance levels of the meshes of the hospital in question.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción

La función de un sistema eléctrico es distribuir correctamente la energía eléctrica a los equipos eléctricos. Estos generalmente son inconsistentes en el sistema debido a anomalías transitorias eléctricas, condiciones de funcionamiento o métodos de distribución de la energía eléctrica [4], [3]. Evitar o reducir las interferencias las cuales tienden a afectar a equipos eléctricos y electrónicos, es imprescindible crear un SPT que proporcione equilibrio, perdurabilidad y seguridad en donde se vaya a implementar el SPT, pero no solo para proteger el equipo en sí, sino también la seguridad de los usuarios y evitar pérdidas lamentables.

Cualquier SPT está diseñado para brindar protección a los aparatos eléctricos y al personal, debe evitar en lo posible sobretensiones, para que los equipos se mantengan funcionando en una condición óptima, evitando la pérdida de su vida útil [5], [6]. El sistema se conectará al equipo o aparato a través de un SPT. Además, todos los SPT deben instalarse en un suelo de baja impedancia para que el flujo de electrones que fluye a través de la malla que está diseñada para liberar cualquier sobrecarga generada en el sistema eléctrico a un ritmo más rápido y en presencia de sobrecarga [7].

Un SPT generalmente se diseña teniendo en cuenta el estándar de resistividad baja aterrizada a tierra [8], pero esto no necesariamente garantiza la seguridad, porque no hay una relación sencilla entre la resistencia de tierra y la corriente cortocircuito o falla, y las personas pueden estar expuestas a ella, en general la naturaleza del SPT debe ser examinada [9].

Los ingenieros que implementan los SPT y los propietarios de las empresas de servicios eléctricos son responsables de garantizar que el SPT siga cumpliendo con sus requisitos de protección durante la vida útil de la instalación [10], [11]. Los cambios en el sistema de energía o los activos de terceros asociados con la instalación, así como cambios en el medio ambiente y las fluctuaciones con respecto al nivel de temperatura

o humedad, pueden causar cambios en el rendimiento del sistema de tierra. Para evaluar el SPT, el ingeniero debe seleccionar un conjunto de escenarios de falla adecuados como base para la evaluación. Sin embargo, el nivel de riesgo relativo del peligro causado por un defecto a tierra (GF) depende de la proporción de la corriente de cortocircuito o falla que pasa a tierra a por la conexión de tierra local del dispositivo y la duración del evento [12], [13].

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

- Analizar el sistema de puesta a tierra del Hospital Gineco Obstétrico Pediátrico de Nueva Aurora “Luz Elena Arismendi” para evitar daños en equipos y sistemas electrónicos de la edificación y cuidar la integridad física de las personas mediante la implementación de bobinas de choque en los SPT del hospital cumpliendo así los requerimientos mínimos establecidos en norma.

1.2.2 Objetivos específicos

- Evaluar el estado actual de los SPT del Hospital Gineco Obstétrico Pediátrico de Nueva Aurora “Luz Elena Arismendi” para comprobar si la instalación cumple con los requisitos mínimos establecidos en norma, mediante la medición de la impedancia.
- Proponer una solución al problema del sistema de puesta a tierra para equipontencializar las mallas existentes mediante la conexión de las mallas por acoplamiento electromagnéticos.
- Desarrollar un presupuesto referencial mediante análisis de precios unitarios

1.3 Alcance

El presente proyecto está vinculado a proponer una mejora de los SPT del Hospital Gineco Obstétrico Pediátrico de Nueva Aurora “Luz Elena Arismendi”, mediante la implementación o acoplamiento de bobinas de choque. Para conocer en qué condiciones se encuentra las mallas a tierra se procederá a medir la impedancia de las

mallas con el telurómetro FLUKE de la carrera de Electricidad de la Universidad Politécnica Salesiana, de esta manera se determinará si las mallas del hospital cumplen con los estándares mínimos establecidos en norma. El presente proyecto concluye con la fase de diseño, la implementación será causa de un siguiente proyecto.

1.4 Justificación

Debido a los eventos adversos generados anteriormente, como son daño electrónico grave a equipos UPS's del subsuelo y bloque administrativo sumado a equipos electrónicos que se han encontrado funcionando correctamente en el sistema eléctrico del hospital, han tenido por algún evento adverso o externo a la red eléctrica del hospital han sufrido daños irreversibles en su parte electrónica por lo tanto es necesario verificar en qué condiciones se encuentra actualmente los SPT del Hospital Gineco Obstétrico Pediátrico de Nueva Aurora "Luz Elena Arismendi" en función de garantizar el correcto funcionamiento de las mallas a tierra y evitar descargas eléctricas peligrosas en las personas, durante condiciones normales de funcionamiento.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Introducción a los SPT o Mallas

2.1.1 SPT o Mallas puestas a tierra

La definición técnica de una malla a tierra está dada como un conjunto de conductores generalmente de cobre desnudo en donde se conectan los equipos pertenecientes a una instalación, esta conexión es el medio de referencia de la instalación. Los SPT permite conectar los equipos que constituyen la instalación a un punto referencial, en este caso la malla creada que esta insertada a tierra [14], [15].

Para los SPT o mallas de tierra equidistantes, el voltaje que circula en la malla se eleva a las esquinas desde su punto central, esto dependerá cuan grande sea la malla, en donde este ubicada y el número de picas que estén implementadas a la malla, otra característica principal depende de la separación del conductor en paralelo, diámetro y a qué nivel de profundidad de enterramiento este la malla, lo más importante las características de resistividad del terreno [14].

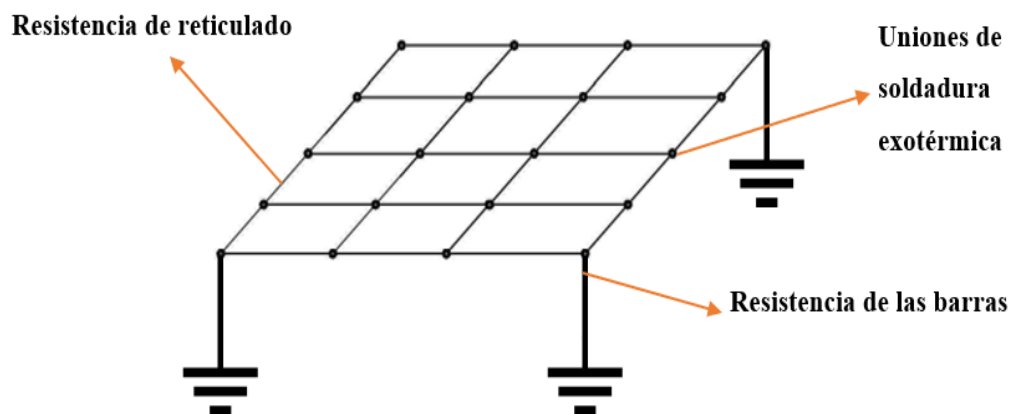


Figura 1. Esquema general de una malla de puesta a tierra.

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Los componentes que constituyen la resistencia de un SPT están dados por:

- Resistencia del conductor en el cual son conectados los equipos a la malla.
- La malla y el suelo tienen un índice de contacto de resistencia.

- Tipo del suelo y su resistividad.

Tenemos además que la malla de tierra conforma diferentes elementos conectados entre sí.

- Se encuentran con más de una pica enterrada.
- La malla a tierra puede tener diferente geometría o diseño, y sus conductores son insertados de manera horizontal.
- Las picas que están soldadas se los ubica horizontalmente según el criterio del diseñador, ya sea estos en las esquinas o perímetro o dentro de la malla misma

Las picas de cobre que se encuentran ubicadas verticalmente se utilizan para construir la malla de conexión a tierra se denominan picas o barras de copperweld y están hechas de núcleos de acero revestidas de cobre. La resistencia del SPT depende de algunos factores o parámetros que dependen de la resistividad del suelo [6], [2].

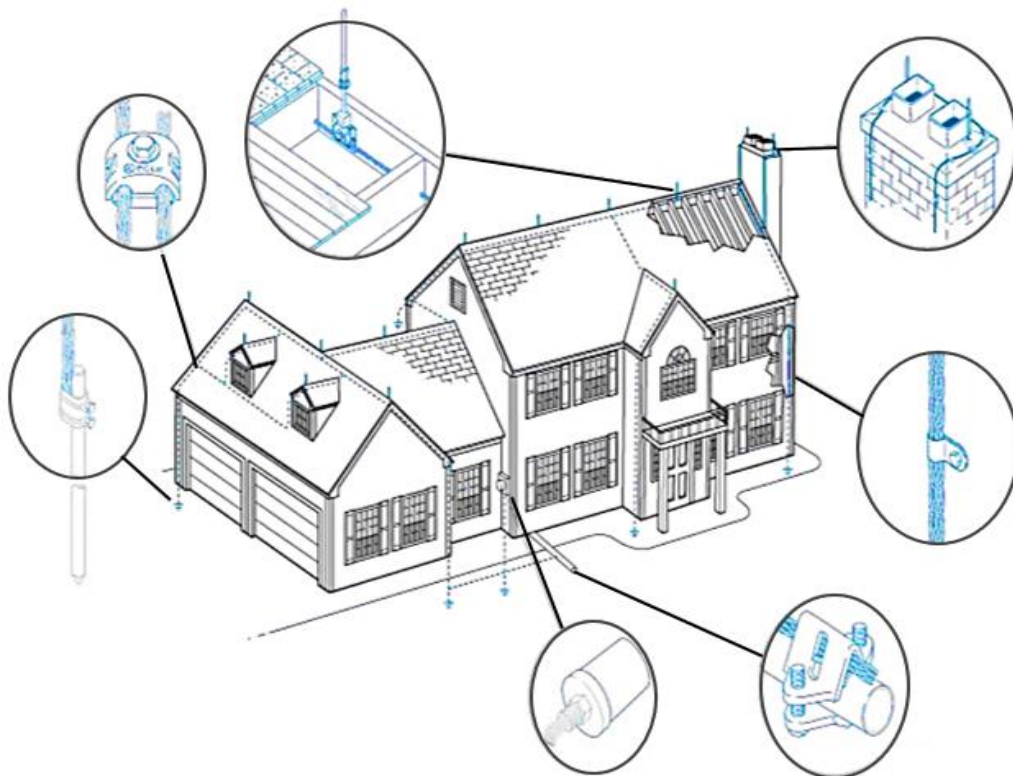


Figura 2. Protecciones contra descargas eléctricas [3].

2.2 Tipos de SPT.

Los SPT se clasifican según la tensión y el uso de las mismas.

- SPT alta tensión que van desde los 460 V - 22860 V
- SPT baja tensión que van desde los 0 V - 460 V

Estos SPT o mallas estarán de manera separada de tal modo que su tensión inducida de la malla de alta tensión a la red baja sea de 125 V, a menos que sus respectivas resistencias sean inferiores a 1 ohmio, en cuyo caso los SPT se pueden conectar entre sí [14].

De acuerdo con las normas emitidas por la Dirección de Supervisión del Servicio de Electricidad y Combustibles, la resistencia de un SPT de bajo voltaje está limitada por la siguiente fórmula [14].

$$R = \frac{65}{2.5 \cdot I} [\Omega] \quad (1)$$

2.3 Propósito de un SPT.

Para conseguir una función de certeza y seguridad adecuados teniendo en cuenta fatales accidentes que son de alto riesgo para las personas, los SPT cumplen con los propósitos siguientes:

- a. Tomar el cuidado del contacto inadvertido con las piezas metálicas que son racionales en una instalación y garantizar el funcionamiento del proceso de protección.
- b. Proteger las instalaciones y permitir que las descargas atmosféricas se descarguen a tierra.
- c. El potencial de la instalación deberá ser compensada o estar en niveles adecuados para evitar peligrosos accidentes que pueden ocurrir cuando se produce un evento de falla eléctrica [9].

2.3.1 Razones por las cuales se pone a tierra materiales que son conductivos.

Se debe topar cuatro puntos de vital importancia para conectar envolventes metálicas, estructuras o material conductor y que además los equipos eléctricos que estén estructurados de masas metálicas [12]. Se pueden encontrar dos razones principales en la sección 250-2 apartado b del NEC.

- Se debe acortar o limitar la tensión que es causada por descargas atmosféricas, y el tocamiento incidental con líneas de alta tensión.
- Dispositivos que actúan como protección de sobrecargas deben facilitar su funcionamiento junto con los disyuntores.
- La tensión deberá estar estable durante su operación normal.
- Favorecer el óptimo trabajo que realiza el interruptor de los circuitos.

Además, exciten otras causas que no se menciona en la normativa que son la corriente de fuga o corriente de fuga electrostática hacia tierra.

Por ejemplo, una conexión de cable de protección es adecuada es indispensable para reducir las fluctuaciones electromagnéticas y también para la corriente de fuga y fuga electrostática [9]. Por otro lado, el ruido eléctrico es generado por las diferentes frecuencias que generan los dispositivos electrónicos y por ende pueden causar daños, problemas, errores de datos en los dispositivos electrónicos modernos. Se debe garantizar que los aparatos electrónicos tengan un buen funcionamiento por lo que es importante descargar las corrientes estáticas y corrientes de fuga inmediatamente a tierra [16].

La norma da a notar la importancia de la relación que existe con la puesta de tierra de seguridad o equipo y el cable que está acoplado a la tierra con neutro. De hecho esta conexión solo se establece en el tablero principal de distribución y se puede establecer a través del puente principal en el dispositivo de servicio, ya que esta conexión debe completar la ruta de la corriente en un evento de falla y activar los elementos de protección los cuales son fusibles e interruptores termomagnéticos [17].

2.4 Tipos de SPT

Principales SPT se denotan a continuación.

2.4.1 SPT física o sistema de barra de tierra.

Cubre el sistema de electrodos que están hacia tierra y cualquier conexión realizada para crear un SPT eficiente.

Esta conexión a tierra que también se la denomina sistema de electrodos, básicamente se lo conectan físicamente a un sistema de electrodos de tierra. Esto es solo una parte del sistema como el resto, es decir, dispositivos de seguridad de circuito [18]. A menudo se asume que la menor resistencia de la barrilla de copperweld en su sistema se contempla que es un buen SPT. Pero para hacer esta afirmación se debe tener en cuenta todos los SPT que se encuentran en las instalaciones eléctricas. La estructura de picas o electrodos de tierra, puede contar de varillas, tuberías u otros electrodos aprobados por la norma y debe estar directamente implantados en el terreno. Básicamente se trata de una estructura que se encuentra enterrada, pero está conectado a las partes conductoras superficiales denominadas barras de tierra.

El cable que está implantando hacia tierra cumple una función principal que es la de dirigir la corriente que está en falla al momento que ocurre algún cortocircuito esta falla será desviada y disipada en las mallas o SPT. La conexión que se realiza en el punto neutro de tierra en el tablero principal de distribución, pues este neutro dará una ruta con una impedancia baja y fluirá la corriente fallada se cerrara así y facilitara que los interruptores del circuito se disparen adecuadamente [19]. El SPT de seguridad se deben conectar con las partes metálicas localizadas en el equipo, generalmente no transportan corriente para mantenerlas en el plano de referencia cero. El sistema evita peligros para el personal porque mantendrá los conductores de fase en la misma referencia de tierra si están en contacto con la carcasa metálica del equipo.

2.4.2 SPT contra descargas atmosféricas o rayos

El SPT contra descargas atmosféricas es un sistema que esta separados de las otras mallas de tierra pero se debe tener en cuenta que este sistema deberá estar conectado a la malla general de la edificación según se especifica en la normativa de la NFPA

780 que es el código que hace mención de la protección contra descargas atmosféricas en otras palabras los rayos [20]. La utilidad principal del SPT contra el rayo es la de dirigir la tensión producida por el rayo al suelo de manera controlada a través de pararrayos, mediante conductores de bajada y picas insertadas a tierra que son independientes. El sistema de protección no se describe en profundidad en la especificación de la norma, pero requiere que el sistema esté conectado a la malla general de la edificación. Al analizar la norma pareciera que no es lógico que se conecten los SPT de los pararrayos con el SPT general. Ya que se quiere descargar de manera rápida al suelo la corriente que es originada por el rayo, y la norma impone conectar al SPT de la edificación en la cual encontramos equipos sensibles o electrónicos.

En otras palabras, llevamos la corriente originada por el rayo a las instalaciones eléctricas. Pero la norma mencionada es lógica. Ya que una de las razones principales para formular regulaciones tiene que priorizar la seguridad de las personas, ya que normal funcionamiento de los equipos es inferior a las regulaciones. La energía del rayo puede incluir alta corriente y alto voltaje [21]. De tal forma que la corriente eléctrica que genera un rayo puede tener niveles muy elevados los cuales van desde los 200000 amperios o más [3]. Por ende, si nuestros dos SPT tanto de los pararrayos como el SPT general no están conectados o enlazados entre sí, se originará una diferencia de potencia entre los dos sistemas, provocando un arco de chispas que saltara causando graves daños y lo que es peor la muerte humana.

2.4.3 SPT de seguridad o tierra de equipo

Este dispositivo está diseñada para proteger al personal y aparatos eléctricos y electrónicos que son elaborados con carcasas conductoras de electricidad al momento de ocurrir un evento de falla o comúnmente denominados cortocircuitos, por lo que este SPT acopla las partes que son de metal conductor es decir, cajas metálicas, tuberías metálicas, revestimientos metálicos de electrodomésticos y todos los dispositivos de alimentación, que están propensos al contacto de las personas, de tal manera que se mantenga a un mismo punto de referencia en este caso la tierra [1]. No se utiliza un método de sistema subterráneo o una pica insertada en el suelo para mantener la misma referencia original. El código requiere que estos contactos sean

eficientes, es decir, dependiendo del código estas deben tener continuidad, que pueda transportar de manera segura la corriente de falla, en otras palabras, que tenga suficiente capacidad para que pueda soportar la corriente de falla manteniendo una baja impedancia facilitando que los aparatos que son de protección operen de manera óptima contra sobre cargas.

El cable de cobre que va conectado al aparato que es la referencia de tierra deberá cumplir con las condiciones de la impedancia.

2.4.4 Cable conectado a tierra

El cable que esta acoplado a tierra, que por lo general se denomina cable neutro ya que en la normativa menciona que este conductor es la referencia de tierra de nuestro sistema, por lo que este conductor está conectado al transformador principal de la empresa que suministra la energía eléctrica, este cable es guiado a nuestra entrada de conexión de la edificación para ser acoplado al equipo de servicio [22], [23]. Dado que esta normativa hace referencia en este apartado, la conexión realizada es neutro a tierra, localizado así la barra principal de tierra en la cual también ira acoplado el conducto de neutro. Priorizando así que el neutro está conectado a tierra.

2.4.5 Tierra aislada

Haciendo mención a este sistema el objetivo principal es la que proporciona un SPT ausente del ruido eléctrico principalmente para aulas de computación o equipos electrónicos sensibles, pero este término empleado ha creado confusión [16].

En inicio de la década de 1970, las grandes corporaciones de los Estados Unidos tenían problemas con el ruido eléctrico y la interferencia de lata frecuencia en la tuberías metálicas que eran las encargadas de la seguridad de los cables de datos ya que estas tuberías actuaban como conductores hacia tierra [24]. Por esta razón se creó e implemento un SPT único para los cables de datos que este libre del ruido eléctrico y no se contaminada con las mallas a tierra de la edificación.

2.4.6 Tierra electrónica.

Este tipo de SPT es importante ya que en los hospitales se manejan de manera masiva y diaria con equipos electrónicos, de tal manera que médicos pacientes y personas externas al hospital hacen uso de las mismas.

Este sistema se creó por el personal que fabrican dispositivos electrónicos para que sea un SPT separado de los otros SPT que existieren en la edificación que estecen contaminados de ruidos eléctricos, pero si no está acoplado o conectado con el SPT general no se estaría rigiendo a la norma de la NEC [25], [26]. Por tal motivo la tierra electrónica obligatoriamente tendrá que estar conectada al SPT de la edificación.

A menudo, cuando el dispositivo se encuentra a una distancia mayor a los treinta metros de su tablero principal, es recomendable conectarlo a la estructura metálica de la edificación. Este acople no viola el código, sin embargo, la distancia que se crea con el conductor de tierra en sí, pueden ocurrir diferencias de potencial.

Los primeros cuatro sistemas enumerados anteriormente son estándares eléctricos que proporcionan seguridad al personal y equipos. Las secciones quinta y sexta se tratan de la seguridad que brindan los SPT y los dispositivos de protección. Cuando se instalan correctamente, los dos últimos sistemas garantizan el buen funcionamiento y longevidad de los sistemas digitales.

2.5 Equipos eléctricos conectados a tierra

A menudo que nos preocupamos por la seguridad de las personas que hacen uso de los sistemas eléctricos, los problemas de conexión a tierra se vuelven relevantes. Cada uno de nosotros es un usuario del sistema. Ya sea el personal médico del hospital o personas ajenas al mismo, en definitiva, cualquiera puede disfrutar de los beneficios y comodidad de los aparatos electrónicos y eléctricos y sus prestaciones sin afectar su integridad física.

Por tal motivo es imprescindible mencionar que un SPT de un sistema eléctrico, es la conexión directa intencionada a tierra a través de elementos de baja resistencia sin fusibles ni protección alguna, para lograr la puesta a tierra de los materiales metálicos conductivos. Por lo que no debe haber voltaje ni debe activarse el mismo potencial en condiciones normales de funcionamiento. Se cree que la tierra tiene un voltaje de cero voltios [11].

2.5.1 Seguridad contra rayos.

La protección contra destellos de los rayos depende en gran medida de la cantidad de usuarios que se encuentren en la edificación, también depende de la altura de esta edificación ya que si pasa de los cuarenta y tres metros esta deberá ser protegida. Y si su índice de riesgo es mayor en sus instalaciones, si se ven afectadas podrían causar grandes desastres [27]. El grado de protección de la envolvente del edificio depende de la proporción de costos y riesgos que se aceptan para cada ubicación y propietario.

La corriente que origina un destello del rayo tiene miles de amperios, que transportan a través del canal ionizado desde el suelo hasta la nube o viceversa.

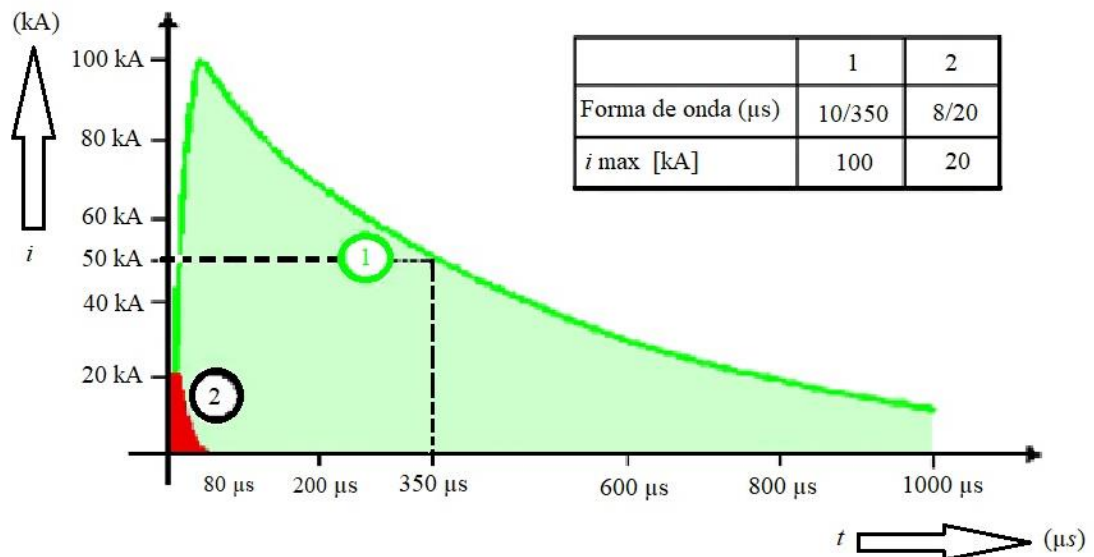


Figura 3. Forma de onda inducida por la corriente de una descarga atmosférica [24].

La **Figura 3** se aprecia cómo se comporta la curva o la forma de onda que origina la corriente del rayo, en un tiempo de 80 microsegundos tiene una corriente de 20 kiloamperios que el tiempo de subida de la onda generada. Los valores representados los establece el IEEE y muestran las formas de onda que ocurren normalmente cuando ocurren descargas atmosféricas. [28], [29].

Esta forma de onda se utilizan para estipular diseños preliminares de dispositivos de medida para la protección e implementación de SPT para contrarrestar los destellos de los rayos.

2.6 Conexión efectiva a tierra

El trayecto de un SPT opta de instalar tres elementos, los cuales son:

- a. Circuitos de los SPT.
- b. Los equipos que serán utilizados para el SPT.
- c. El equipo con cubiertas que tengan conductividad.

La ruta de conexión a tierra se incorpora al circuito durante la instalación. Las conexiones realizadas en los SPT deberán ser siempre continuas los conductores no deben ser empalmados de ninguna manera, previo al diseño se deberá elegir el calibre adecuado para que soporte eventos de falla en el sistema.

El cable que va a hacia tierra y conectado hacia la barra equipotencial va acoplado hacia la pica de copperweld. Por lo que es necesario que este cable tenga una impedancia menor. Esta baja resistencia siempre debe mantener un valor bajo [30].

Entonces, la conexión de tierra efectiva menciona en la norma que se trate como un circuito eléctrico más. Ya que se lo debe instalar con las mismas medidas de cuidado y atención que se aplica a los circuitos eléctricos de distribución.

Este cable del SPT no es diseñado para que direcciona corrientes de carga sino solo al momento de ocurrir algún evento de falla en el sistema.

Por ende, la conexión óptima de un SPT se lo pude resumir de manera corta.

La trayectoria es:

- Los SPT son conectados de manera intencionada
- Los conductores o cables no deben estar empalmados
- El sistema debe estar operativo permanentemente
- Debe proporcionar fiabilidad y seguridad, su calibre debe ser escogido correctamente para que conduzca sin riesgo alguno los eventos de falla del sistema.

Su resistencia debe mantener niveles bajos por buenas razones.

- Tiene la capacidad de que la tensión a tierra sea limitada.
- Funcionamiento sencillo para que opere el sistema de protección.
- Envía a tierra las corrientes parasitas.

2.6.1 Funciones importantes de un SPT

1. El objetivo principal es la de resguardar la seguridad humana del personal.
2. Proporcionar un camino rápido de descarga de baja impedancia para aumentar y garantizar el rendimiento de las protecciones.
3. Evitar altos voltajes de descargas atmosféricas.
4. Permitir que los contactos inadvertidos que generan estática y destellos atmosféricos sean desviadas a tierra.

2.6.2 Requisito que debe tener una malla a tierra

Un SPT o malla tendrá que apegarse a cumplir requisitos siguientes.

1. Resistencia baja según se aplique la norma tal para ser considerado un SPT.
2. Al momento de variar su resistencia que se debe a cambios climáticos, esta deberá asegurar la fiabilidad de despeje en un evento de falla.
3. Baja impedancia de onda para facilitar el paso de los rayos o comúnmente llamadas descargas atmosféricas.
4. Las corrientes de falla deben ser conducidas sin crear un gradiente de potencial peligrosa entre puntos vecinos.
5. El SPT debe soportar el desgaste en otras palabras la corrosión.
6. La malla en si deberá tener buenas propiedades de conductividad y resistencia baja.

2.7 Sistemas y equipos que conforman SPT

Un SPT concite inicialmente en la conexión de una parte conductora denominada barra de tierra, pero esta no pertenece al circuito, ya que esta ira conectada hacia una pica o

electrodo de tierra o varios de ellos que están implantados en el terreno a una cierta profundidad la cual no lleva ninguna clase de protección o fusible.

Esta conexión de tierra, debe garantizar que todas las instalaciones, edificios y superficies de terreno cercanas no tengan diferencias de potencial peligrosas, al tiempo que se permite que la corriente de falla o la corriente de descargas atmosféricas permita el paso a tierra [31], [20].

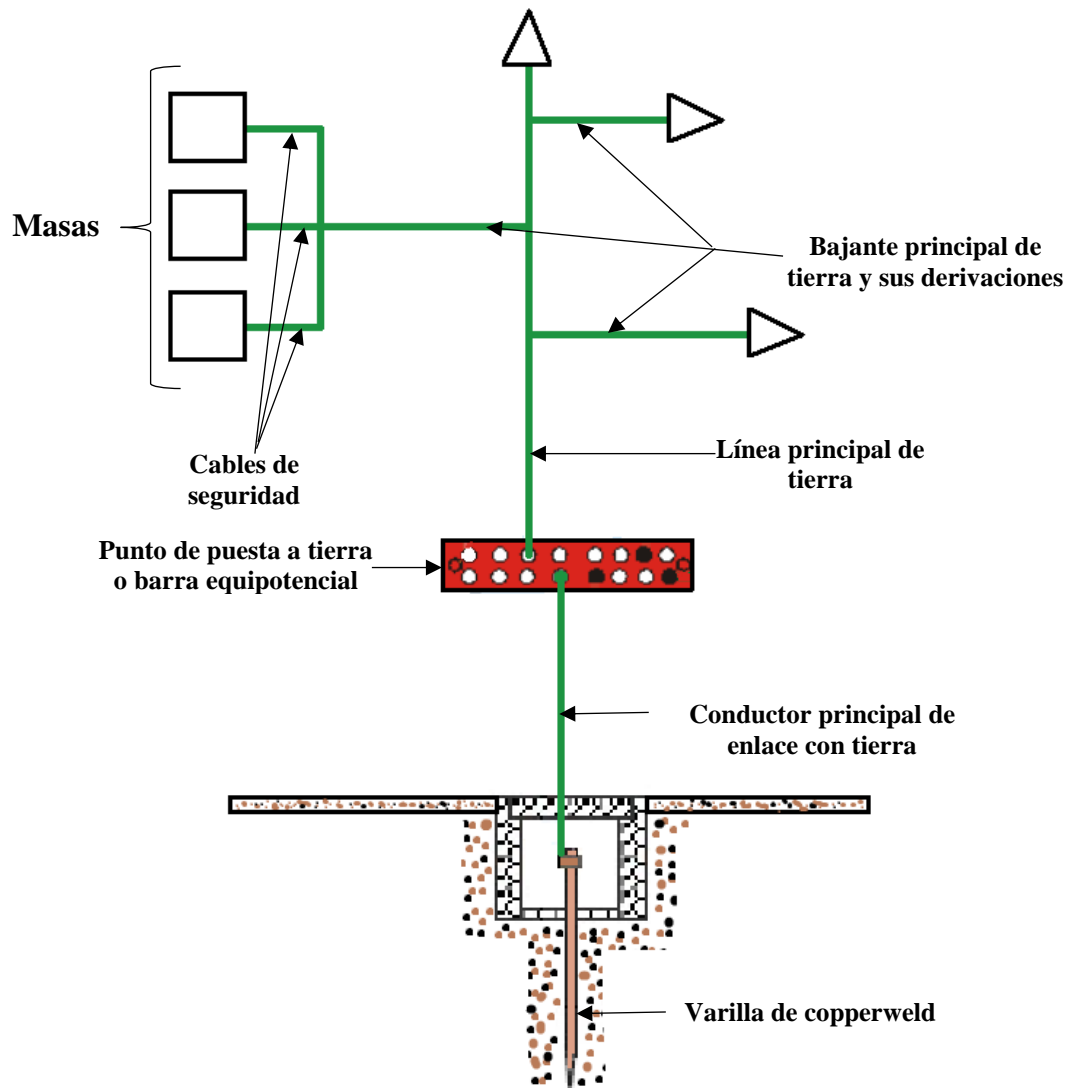


Figura 4. Esquema de un SPT y su instalación.
Elaborado por: Pablo Gualotuña.

2.7.1 Componentes que constituyen una malla de tierra.

Un SPT puede estar conformado por distintos elementos, entre estos lo conforman los siguientes componentes.

- a. Varillas de tierra o electrodos (varilla de copperweld).
- b. Cable que esta direccionado a tierra.
- c. Diferentes conexiones con acoples o soldadura.
- d. Cable destinado a la protección del sistema
- e. Cable de servicios acoplados en el tablero principal.

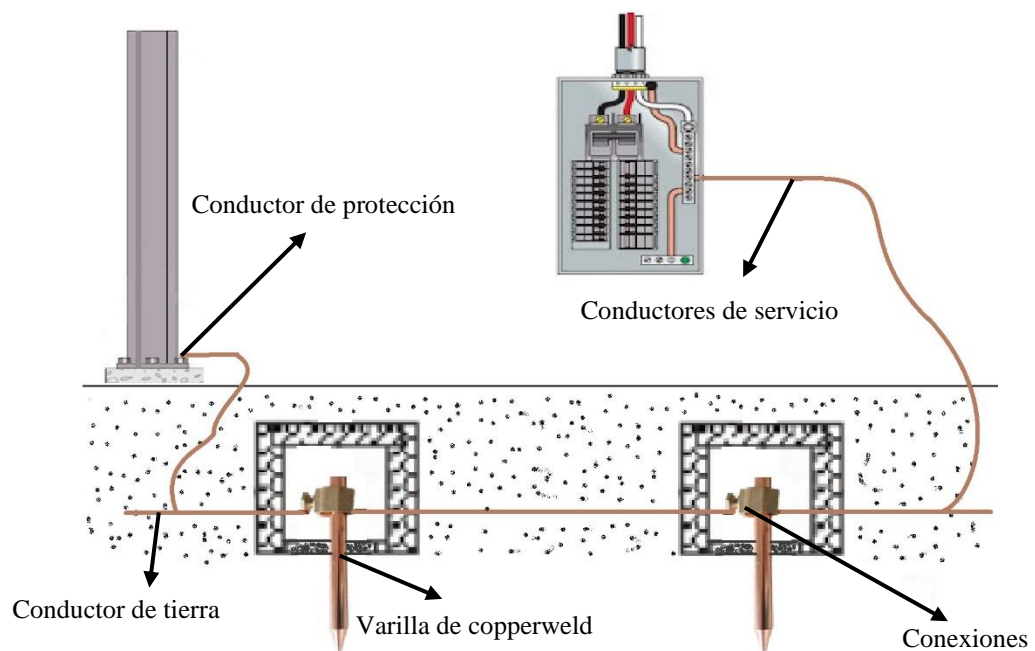


Figura 5. Componentes que constituyen una malla a tierra.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

2.7.2 Varilla de tierra o electrodos

También se denominan electrodos verticales. Y son elementos fundamentales en el SPT, estos electrodos están directamente enterrados en el suelo y el cual es el medio por donde se despejan los eventos de falla de un sistema eléctrico.

El electrodo este fabricado con alma de acero y cubierto de cobre, que tiene propiedades tanto eléctricas como mecánicas adecuadas para su utilización, y sus características perduran durante un tiempo prolongado después de su instalación. [9].

2.7.3 Funciones de la varilla o electrodo de tierra

Un SPT esta principalmente constituida por más de una varilla o pica de copperweld que desempeñan una función importante dentro de este sistema. Estas funciones de los electrodos son:

1. Establezca un contacto de tierra adecuado.
2. Proporciona diferentes descargas a tierra por la gran cantidad de electrones generados al momento de ocurrir descargas atmosféricas o sobre voltajes y deben ser disipadas instantáneamente.
3. Las corrientes de fuga deben ser disipadas inmediatamente a tierra y descargas electrostáticas que se presentan en las carcasas de los dispositivos.

El electrodo de tierra tiene la función principal de mantener a cualquier revestimiento o carcasas conductivas de los equipos con una referencia de cero [32], [14]. Esto se puede hacer con un SPT que sea eficiente, lo que significa que se debe tener especial cuidado en mantener la continuidad del cable que sale del equipo. Por, lo tanto los electrodos asumen y proporcionan diferentes caminos para los eventos de falla que se producen.

Como parte del diseño del SPT, el análisis del tipo de terreno es de vital importancia para nuestra malla a tierra. Debe ser analizado el comportamiento de la conductividad o resistividad del terreno. Ya que los suelos arenosos no son tan conductores como los suelos fértiles. Además, cuanto mayor sea la humedad, mejor será la conductividad.

Tabla 1. Dimensiones de las varillas copperweld [20].

Dimensiones de las varillas copperweld o electrodos de tierra	
Diámetro [mm]	Largo [m]
15.88 (5/8")	2.44 (8 pies)
19,08 (3/4")	3.05 (10 pies)

2.7.4 Conductor de tierra

Se deben usar conductores de cobre en la malla de puesta a tierra y el aluminio solo se puede usar cuando sea necesario por lo general en la práctica se suele utilizar conductores de cobre ya que este material ofrece mejor conductividad y es de menor calibre. En cualquier caso, la fórmula para poder encontrar el calibre del conductor deseado la encontramos en la norma IEEE 80-2000 ya que con esta ofrece una forma más rápida de encontrar su calibre según el evento y duración de la falla, de tal forma que a continuación se muestra la misma[33].

$$A_{mm^2} = \frac{I_F \cdot K_f \cdot \sqrt{t_c}}{1.9740} [mm^2] \quad (2)$$

Donde:

I_F = se la conoce como corriente de falla y su unidad de medida se da en [kA].

K_f = es la constante del material a utilizar y se lo calcula basado en la fusión de temperatura véase la tabla en el **Anexo A**.

t_c = tiempo que dura una falla y según la norma IEEE 80-2000 en la sección 6.1 este evento de falla está en el rango de 0.03 – 3 segundos (s)

2.7.5 Conexiones

Las conexiones de los SPT son muy importantes ya que de esta depende como se comportará su resistencia y está también esta propensa a que tenga envejecimiento y con la humedad tenga corrosión. Se puede enfatizar lo más importante:

a. Conectores Atornillados: Se trata de piezas metálicas que se utilizan para poder realizar empalmes con los cables de cobre por lo que los fabrican de manera que sean desmontables, cuentan con una propiedad que aplica presión a través de roscas, se la visualiza en la **Figura 6**.



Figura 6. Conexión atornillada.

b. Conexión exotérmica: La soldadura exotérmica es un proceso en el que se realiza una conexión eléctrica vertiendo una aleación de cobre sobrecalentada dentro y alrededor de los conductores que se van a conectar. En una forma de grafito semipermanente hace que los conductores se vuelvan a medida que enfrían los conductores conectados en una soldadura por fusión [19].



Figura 7. Conexión exotérmica [19].

2.7.6 Conductor de protección

Estos cables dan la seguridad ya que, si existen partes conductoras expuestas como carcasas de tableros, transformadores entre otros. Se mantenga toda esta estructura aterrizada a tierra y que no provoque peligro alguno.

Para lo cual se vitaliza en la **Tabla 16**. la sección del conductor de protección véase el **Anexo D**.

2.7.7 Cable de servicio

Este cable está destinado para su conexión del circuito de tierra con los equipos que se encuentran en la edificación, también son utilizados para conectarse a más de una pica que está en tierra, y de igual forma como se lo menciono con antelación este deberá soportar eventos de falla des sistema en un tiempo determinado. Al momento de soportar esta falla el calibre seleccionado no deberá tener averías en la parte de sus conexiones o acoples por lo en todo su tendido de cobre no debe presentar ninguna clase de empalmes [9].

Se podrá visualizar la sección para el conductor de servicio los cuales se detallan en la **Tabla 17** en **Anexo E**.

2.8 Mallas de tierra para hospitales

El progreso tecnológico en la actualidad ha presentado un desarrollo de aparatos médicos vanguardistas y sensibles, la cual implica en mantener la constancia de seguridad en los usuarios y pacientes por ende se ha visto la necesidad de mejora los SPT. Un sistema de protección adecuado es el que garantiza el buen funcionamiento de estos dispositivos de acuerdo con los estándares parametrizados garantizando la protección de personal y dispositivos [24].

Dicho de otra manera, los SPT deben considerarse antes de cualquier expansión o construcción que se vaya a realizar en los sistemas eléctricos.

El riesgo de que una persona tenga un accidente de electrocución en hospitales aumenta ya que se sabe que hay dos tipos de pacientes, los médicos y personal propios del hospital los cuales son los encargados de manipular los aparatos eléctricos y electrónicos y los cuales tienen un riesgo de 25 miliamperios ya que es como parte de su actividad normal y personas que se someten a un tratamiento invasivo con caracteres cardiacos con un umbral de cien microamperios.

Dentro de otros centros de salud cuentan con equipos que contienen baterías en su interior y se los carga cuando el equipo no está en uso. Por lo que es de vital importancia que el equipo electrónico y eléctricos tengan un punto de referencia a un SPT por motivos de seguridad de los pacientes.

Todos los SPT deben estar acopladas unas con otras y mantener si equipotencialidad. Es bastante común descubrir SPT de una referencia general aislada conocidas como varillas individuales en los hospitales, las mismas que nunca deben usarse debido a la inseguridad que representa. Estos sistemas deben tener un funcionamiento limpio que estén libre de interferencias electromagnéticas por lo que se debe asumir un alto nivel de fiabilidad y confiabilidad.

Estos SPT son componentes muy importantes para los sistemas eléctricos, ya que deben despejar corrientes parasitas o al momento de ocurrir un evento de falla y destellos atmosféricos, dentro de las casas de salud estos sistemas aseguran la vida de las personas y pacientes [27].

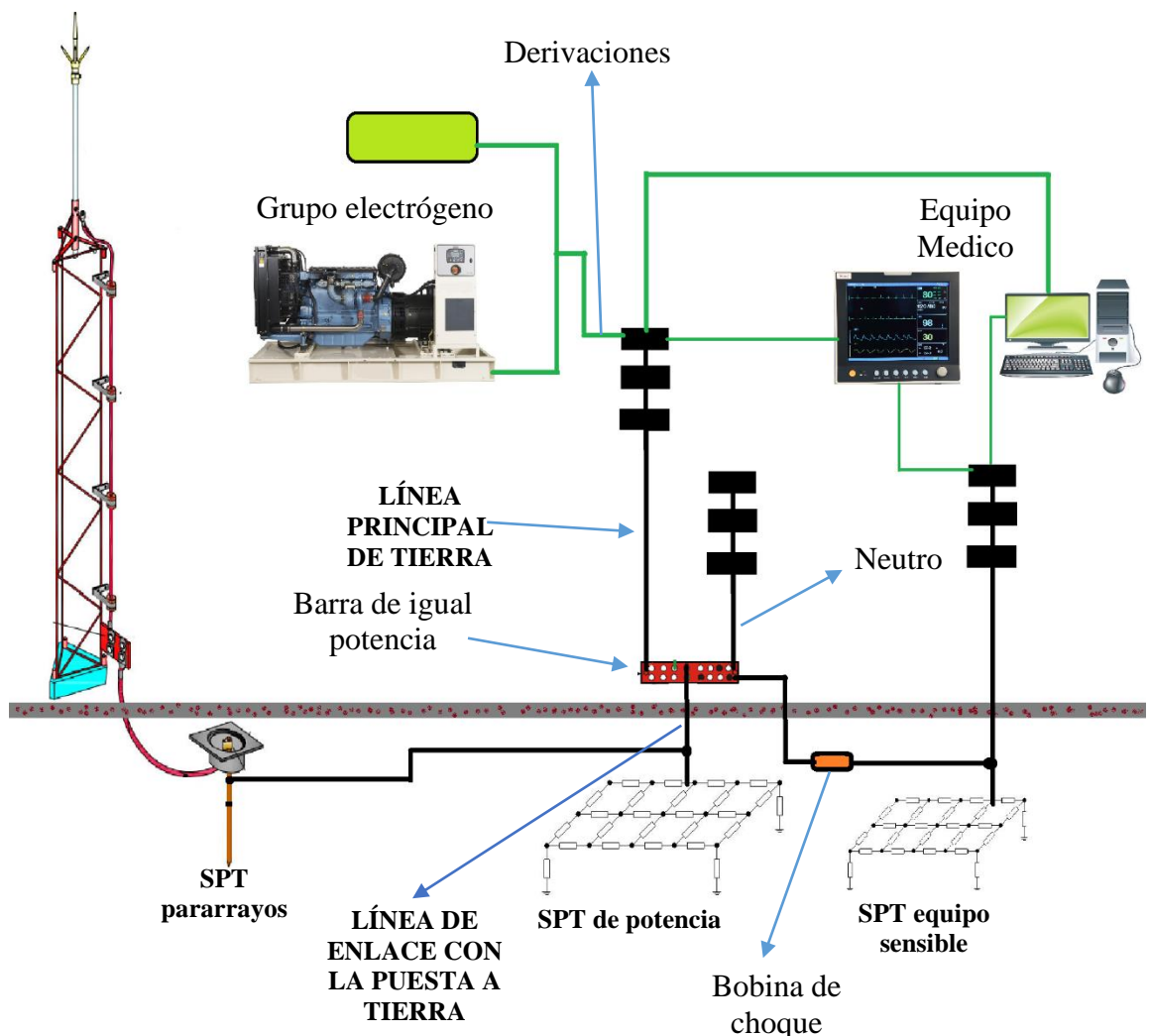


Figura 8. Diagrama de puesta a tierra para Hospitales.
Elaborado por: Pablo Gualotuña.

2.8.1 Consecuencia al no implementar un SPT

Es muy importante el tener un SPT y al no tenerlos trae consigo lo siguiente.

1. Interrupción del servicio.
2. Múltiples eventos de fallas
3. Posibilidad de formación de arco y ocasionar incendios.
4. Hace que la localización de problemas sea difícil
5. Puede haber tensión anormal
6. Sobretensión en el sistema de potencia.
7. Mayores costos
8. Quemar o dañar los equipos en funcionamiento.

2.9 Exigencia de las mallas a tierra para hospitales

Estos son algunas exigencias más importantes a tener en cuenta en los SPT hospitalario:

1. Redundantes.

El principal criterio por el que un hospital se distingue de otras instalaciones es hacerlo redundante, en otras palabras, sobreproteger equipos sensibles.

2. Neutro.

Este cable debe estar conectado en un solo sitio o un solo punto, en el transformador y frente a cualquier dispositivo de aislamiento o blindaje. Este punto debe ser de 3" x ¼" x 60 [cm] denominado barraje equipotencial de cobre.

Sin embargo, en el caso de un transformador o dispositivo, los cables de conexión neutro y principal siempre deben estar conectados a tierra sin seccionamiento o riesgo de daños.

3. Varilla o pica de puesta a tierra.

Estas picas deberán estar conectas en lo posible lo más cerca al neutro del sistema. Preferiblemente picas que sean de un tamaño de al menos 16 mm x 1,8 m o 1,6 m mínimo, certificadas eléctricamente, de acuerdo con la norma IEEE que estén enterradas de manera vertical.

Este cable debe estar regido por el código de colores que en este caso sería verde o verde amarillo.

4. SPT o Malla a tierra.

Todos los SPT deberán cumplir con una caja de revisión de concreto armado con dimensiones de 0,3 x 0,3 m con una tapa que se fácil de ser levantada y concuerde con el diseño implementado en la malla.

5. Partes conductivas metálicas.

Toda la estructura metálica de la edificación y materiales que fueron utilizados para las instalaciones eléctricas que sean conductoras deberán estar aterrizadas obligatoriamente a tierra y a las barras equipotenciales donde se acoplan los SPT.

6. Corriente espúreas o errantes.

Las corrientes espúreas no deberán fluir en los cables que están en los SPT, ya que por esta solo circulara corrientes al momento de ocurrencia de un evento de falla.

7. Cables o conductores del SPT.

Los cables deberán tener un blindaje metálico externo o blindaje que actúe como conductor de tierra. Se utiliza para proporcionar círculos parciales que conectan las áreas de atención al paciente y se disponga de conexiones redundantes con materiales conductivos.

8. Equipos eléctricos fijos y tomacorrientes.

Las áreas identificadas como atención al paciente, todas las salidas y superficies conductoras (metálicas) de equipos estacionarios que transportan corriente, pero que pueden operar a voltajes superiores a 100 voltios y son accesibles para las personas, se tendrá que utilizar cable de cobre que este aislado y conectado a tierra.

2.9.1 Recorrido efectivo de un SPT.

El recorrido efectivo de un SPT deben cumplir con los siguiente:

- a. Debe ser permanente y continuo.
- b. El SPT debe garantizar la fiabilidad en seguridad del personal.

- c. Debe conducir de manera eficiente las corrientes provocadas en eventos de falla del sistema eléctrico.
- d. Su impedancia debe ser baja ya que esta limita el potencial de tierra.

2.9.2 Tierra única y Equipotencialidad

Al instalar dispositivos eléctricos o electrónicos, se debe garantizar una equipotencialidad, ya que es esencial para evitar potenciales de inducción o inductivos, de esta manera se contribuye con seguridad de las personas y los dispositivos.

En el pasado los técnicos y expertos en el área que desempeñaban un trabajo en telecomunicaciones, redes de datos o digitalización de sistemas, asumían el concepto de tener SPT independientes de los otros, con esto creían evitar ruidos no deseados generados por las conexiones de los otros SPT [7]. La norma acepta el concepto en la utilización de SPT que debe ser una sola y equipotencializada.

Se requiere la conexión de todos los SPT existentes para evitar la aparición de potenciales indeseables debido a la inducción de los otros SPT, estructuras u otras partes metálicas adyacentes en el momento de un evento que ocasione corrientes de falla.

Todos estos SPT deberán ir conectados todos entre sí y garantizar que los materiales estén a un mismo potencial, de acuerdo a esto la seguridad en las personas será fiable y los equipos sensibles trabajaron correctamente según su uso.

Por lo que es errónea tener SPT como se observa en la **Figura 9**.

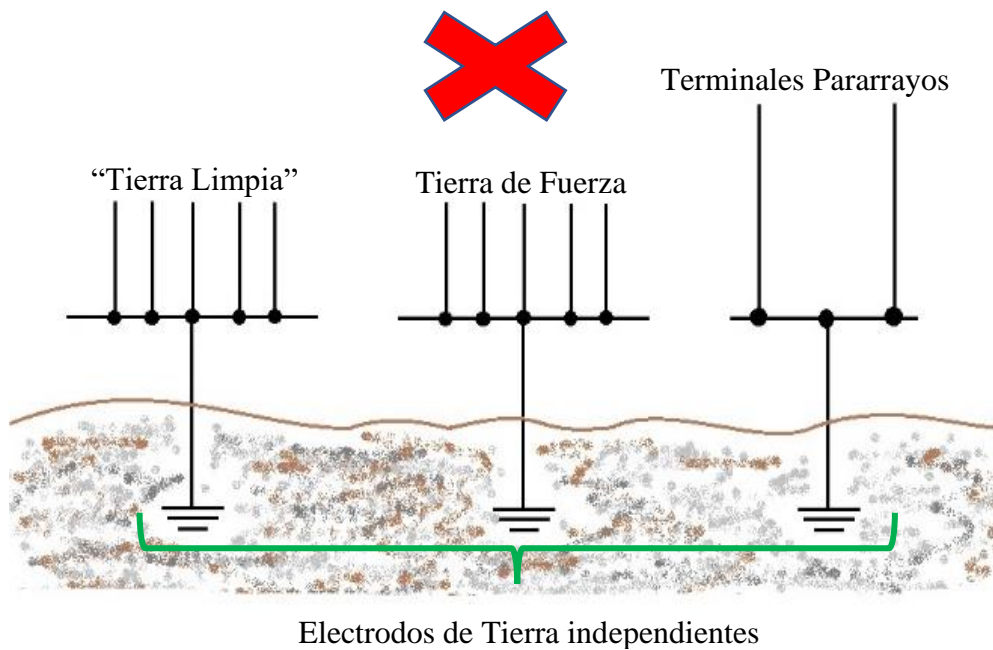
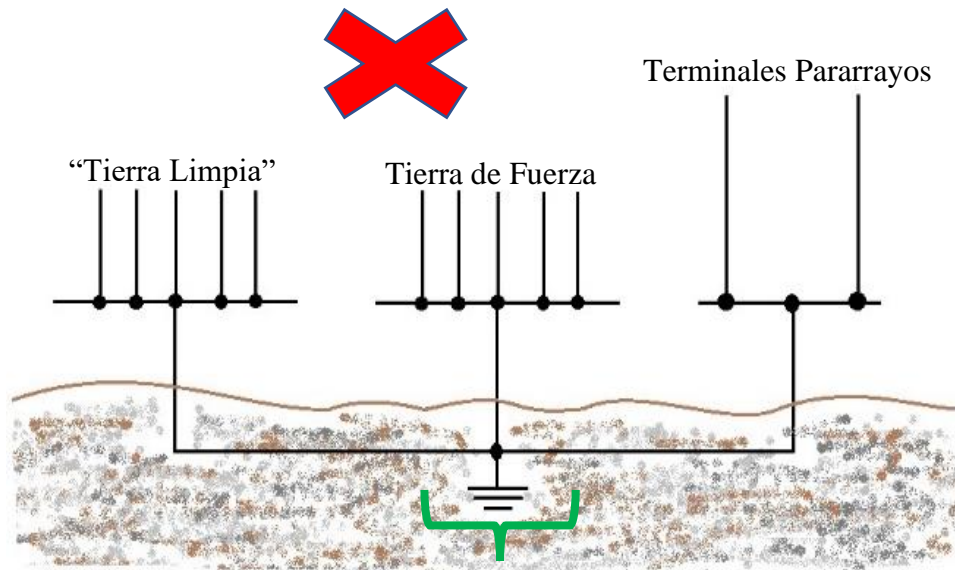


Figura 9. SPT o tierras separadas.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

De lo anterior podemos dar algunos ejemplos. Por lo general, nos encontramos con un malentendido de SPT independiente, como se visualiza en la **Figura 9**, para obtener un SPT a tierra "limpia". Los SPT que se observa no están conectados entre sí. Este método es inadecuado y presenta un riesgo de seguridad para la instalación.

Con el fin de resolver este problema observable de los SPT que son individuales, se propuso que todas las tierras estén conectadas en una sola masa obteniendo finalmente un solo SPT que era presentado como corrección a las mallas individuales presentadas en la **Figura 10**. Se presentan como sistemas independientes aterrizadas a una sola masa, por lo tanto, se busca con ello una equipotencialidad. Actualmente no es aprobado en términos de equipotencialidad.



Un solo electrodo de tierra

Figura 10. Una sola tierra a nivel superficial.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Se lo denomina así entonces como una referencia de un SPT único, de manera que su propósito es disminuir o aumentar los potenciales de tierra juntos. En caso que ocurra rayos en la parte atmosférica el SPT de los pararrayos elevara su voltaje a un valor mayor de miles durante unos segundos, lo mismo ocurrirá para los otros sistemas y no existirá una diferencia en el potencial de la edificación y los SPT [20].

Los estándares de la actualidad mencionan que debe haber una equipotencialidad general para todos los SPT existentes ya que si bien las mallas están diseñadas individualmente de alguna u otra forma deberán estar conectadas entre sí y equilibradas, véase la **Figura 11**, que es una equipotencialidad correcta de un SPT.

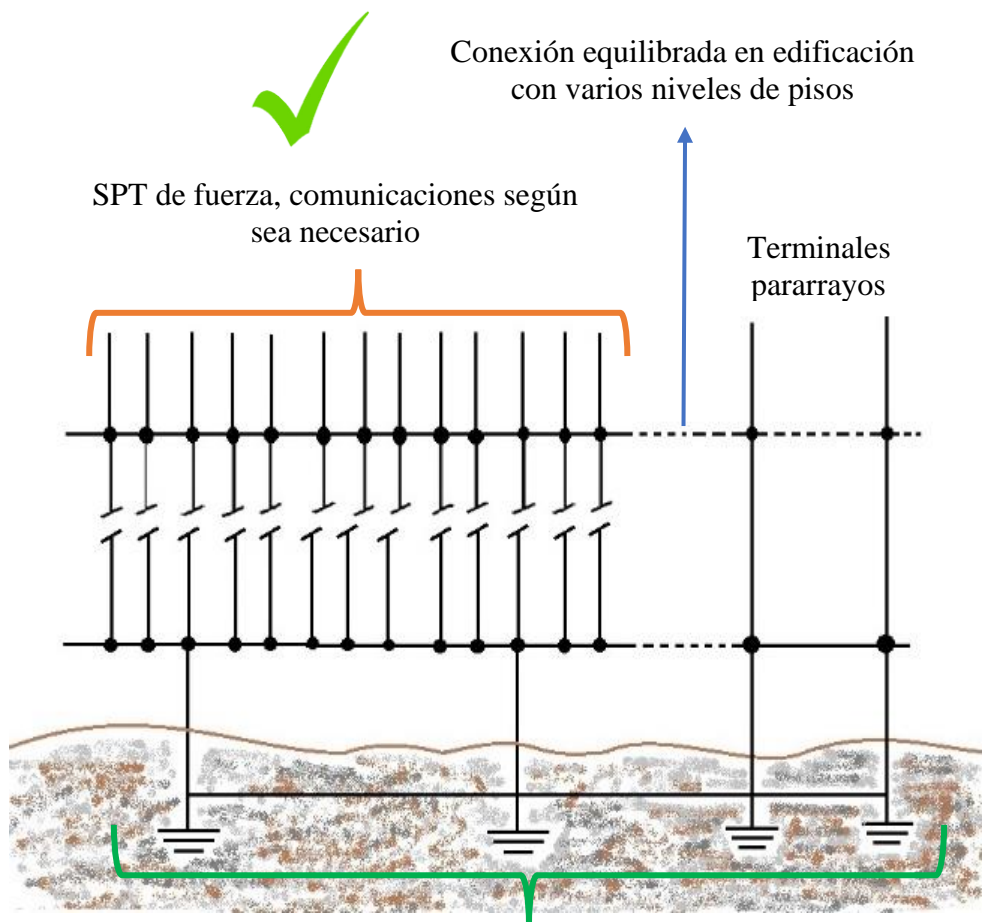


Figura 11. Tierra única y equipotencializada.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Cuando los edificios tienen diferentes niveles, como se muestra en la **Figura 12**. Se debe buscar una equipotencialidad a través de los pisos, incluida la conexión de pararrayos. Cada nivel del edificio deberá tener una conexión equipotencial perfecta, la cual se lo puede lograr con una barra de cobre a la cual se conectan la estructura metálica de la edificación y materiales conductores que están dentro de las instalaciones eléctricas y sus alrededores.

La figura tridimensional representa el recorrido de cada parte del edificio con el único propósito de conectar todos los componentes y estructuras.

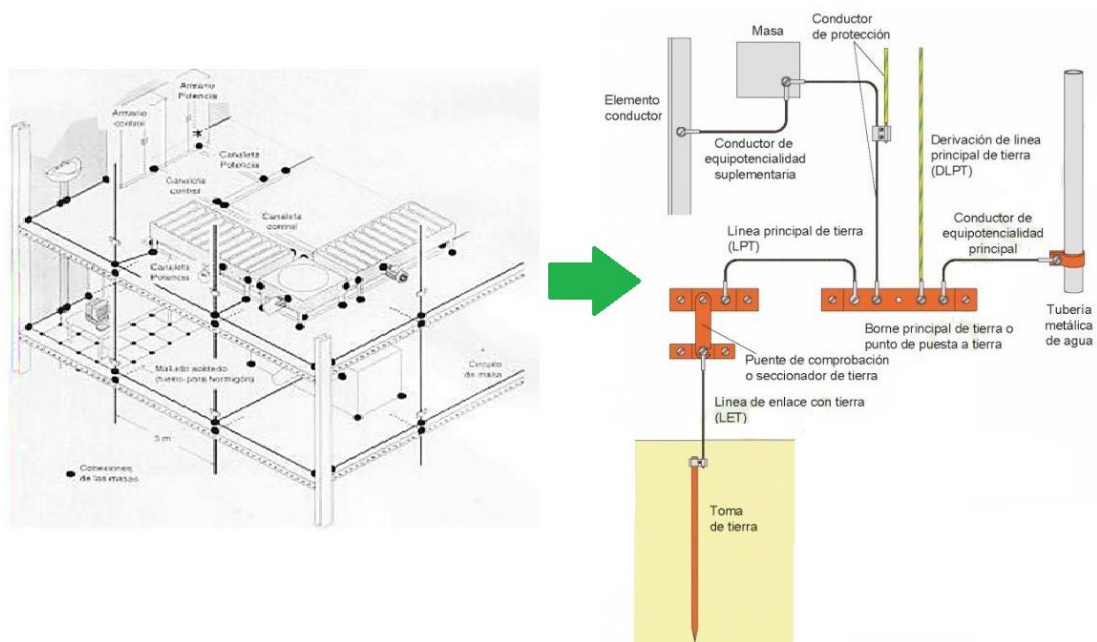


Figura 12. SPT esquema tridimensional de niveles.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

En este sentido un SPT que este equipontencializada constituye un manto de protección que tiene como objetivo integrar el potencial de las partes metálicas las cuales no son destinadas a conducir la electricidad. Por lo que estas estructuras metálicas conductoras están acopladas al a la barra de cobre equipotencial principal con cables que se conectan entre ellos y luego hacia el SPT. Para las conexiones equipotenciales se utilizan placas y tiras en lugar de cables redondos [34].

2.9.3 Barra de cobre equipotencial.

Barra de cobre conductor pretaladrada, que tiene la posibilidad de conexión a sistema de protección contra rayos, conexiones que están ligadas a las estructuras metálicas de la edificación, en la cual también van conectados todos los SPT y todo lo referente a materiales que sean conductivos de electricidad y que estén referenciados a un solo punto de tierra [6].

La equipotencialidad la podemos lograr mediante la inserción de vías de chispa o como se lo conoce con bobinas de choque o con la conexión de conductores o cables equipotenciales.

El tamaño o las dimensiones de este elemento de cobre o barra deben cumplir ciertos requisitos para que se implemente en los SPT la cual se puede observar en la siguiente **Figura 13**. la barra que será utilizada en el sistema deben estar certificados, y sus conexiones en su defecto debe usar una soldadura externa que utilicen aisladores de soporte para la barra.

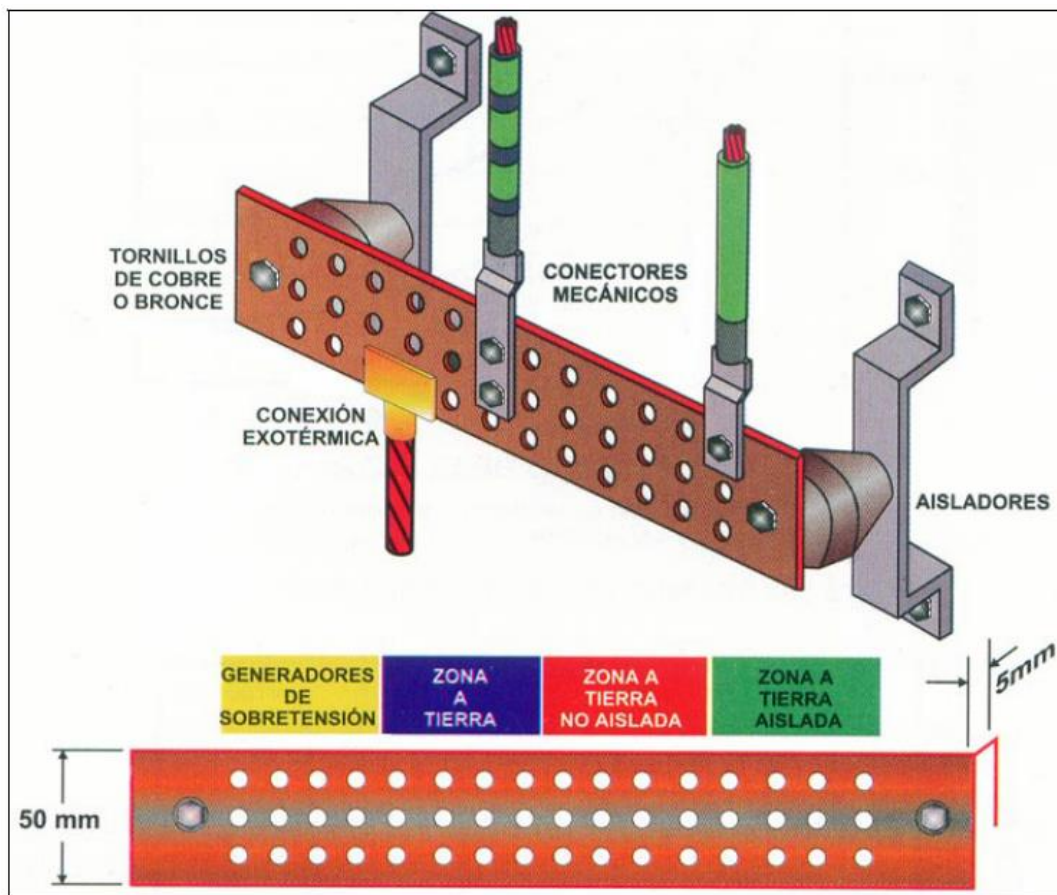


Figura 13. Barra equipotencial [3].

2.9.4 Bobina de choque o vía de chispa.

Las vías de chispa para los SPT tiene un principio de funcionalidad de resistencia baja, ya que esta permitirá nivelar todos los SPT cuando los sistemas se encuentren funcionando normalmente.

La bobina de choque es una serie de cables enrollados en un cilindro, a través de las cuales crea un campo magnético en cada espira. Al momento que estos interfieren se crea una autoinducción creando corrientes inducidas oponiéndose al paso de las corrientes originadas, retrasando la corriente respecto con el voltaje [20].

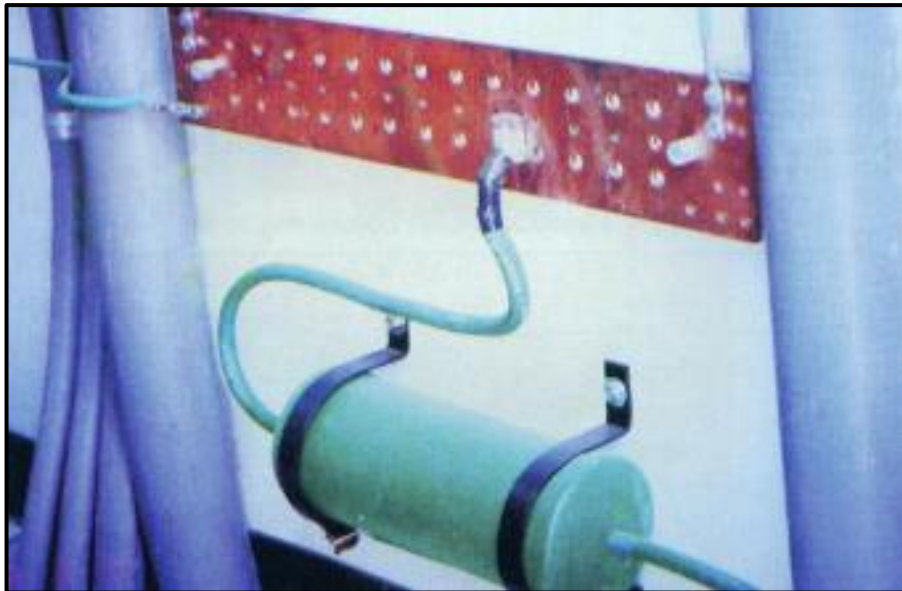


Figura 14. Bobina de choque [3].

Estas bobinas de choque como comúnmente se las conoce es utilizada ampliamente en la actualidad, ya que esta ayuda a reducir las sobretensiones que origina un rayo al momento de impactar en los pararrayos, que provocan inestabilidad en el sistema eléctrico, y sirve para conectar los SPT general, de equipo sensibles o electrónicos ya que este sistema se comportara como un divisor de corriente [35].

El comportamiento de esta bobina de choque se lo aprecia en la **Figura 15**. Donde la resistencia de SPT del pararrayo es mucho menor a comparación con el SPT de la subestación, la corriente del royo será menor.

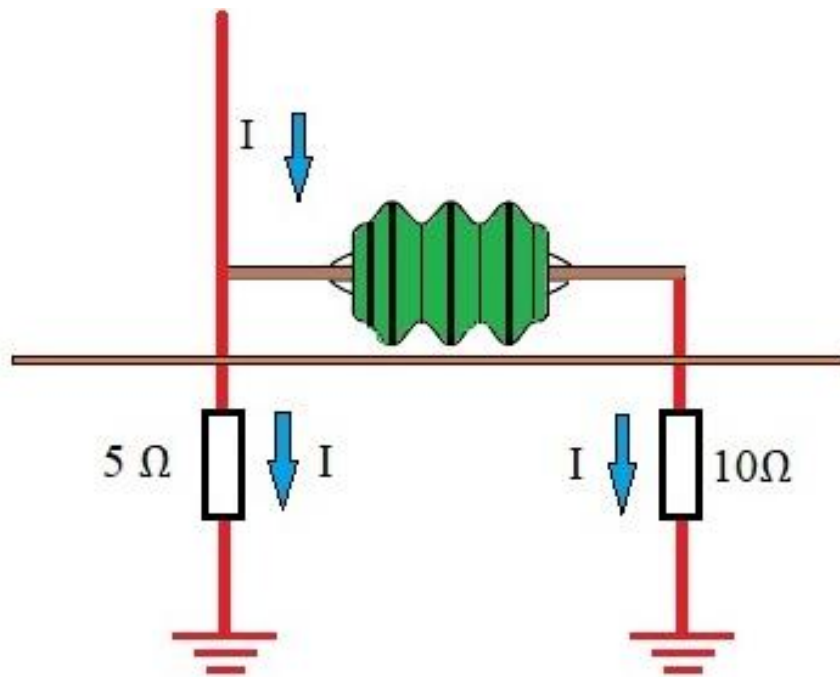


Figura 15. Bobina de choque o vía de chispa
Elaborado por: Pablo Gualotuña

2.9.5 Resistencia a tierra valores aceptables recomendados.

Instalaciones que tienen su corriente de falla a niveles bajos no requieren que su nivel de resistencia a tierra sea bajo, como ocurre en sistemas más grandes con corrientes de falla a niveles más elevados a tierra más altas no requieren valores de que su impedancia sea más bajos. Los valores de resistencia a tierra inferiores a $1\ \Omega$ están conectados a varios electrodos o varillas que se conectan entre ellos. Esta menor resistencia solo se requiere para grandes subestaciones, líneas aéreas o estaciones de producción. Estas resistencias que varían entre $1\ \Omega$ y $5\ \Omega$ son implementadas en subestaciones, fabricas industriales y grandes edificaciones de comercio, además los valores de estas resistencias se aplican al campo hospitalario [32].

Estos valores son referenciados por la norma IEEE Std. 142- 2005 los cuales son valores aceptables recomendados y se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 2. valores de resistencia aceptables recomendable.

<i>Instalación</i>	<i>Resistencia recomendada</i> (Ω)
Subestación	< a 1
Sistemas de protección contra relámpagos	< a 10
Sistema en BT	< a 25
Telecomunicaciones	< a 5
Hospitales – Equipos sensibles	< a 5

Elaborado por: Pablo Gualotuña

2.10 Efectos de sobretensiones

hay varios efectos negativos que causan estas sobretensiones y se las distingue de diferentes tipos.

a. Destrucción.

Se destruyen las pistas de las placas de los aparatos electrónicos.

Acortamiento de la vida útil de los Triacs y tiristores.

Partes metálicas que tienen los componentes.

b. Perturbaciones de funcionamiento.

Los ordenadores presentan fallas en sus programas instalados.

Funcionamiento aleatorio los tiristores o triacs.

Error de datos o de transmisión.

Memorias que se dañan o se borran.

c. Envejecimiento prematuro.

Las baterías de los UPS tienden a sobrecalentarse y por ende se inflan.

Los reguladores de voltaje para los equipos electrónicos en este caso computadoras se ven afectados por las sobretensiones.

2.10.1 Efectos que causan los sobrevoltajes a la integridad personal.

Permanentemente hay personas que se electrocutan de manera accidental, esto ocurre cuando una persona se convierte parte del sistema eléctrico, en otras palabras, hace contacto con la parte donde fluye la corriente a tierra. Esto ocurre particularmente cuando las instalaciones eléctricas ya están en deterioro y no cumplen su función principal de proteger ya sea esto por falta de mantenimiento e inspecciones mal realizadas [27].

La exposición prolongada a este tipo de corrientes puede resultar fatal para el cuerpo humano, se muestra en la **Tabla 18** el **Anexo F**.

El efecto que causa la electricidad que fluye por el cuerpo de las personas tiene factores que dependen ya sea de su tipo de piel, o también se considera personas con enfermedades cardíacas. Esta corriente es capaz de recorrer de una mano a la otra y causa la mayor parte de su daño al fluir directamente a través del corazón. El umbral para comprender la sensación de hormigueo es si daño para los humanos a diferencia de la electricidad, que causa movimientos reflejos de los músculos y daños irreversibles.

2.11 Normas

Estos estándares internacionales se basan en teorías científicas probadas y que tienen experiencia técnica en todo el mundo además por lo que ya están probadas internacionalmente, estas normativas imponen requisitos mínimos para la elaboración de su diseño y su posterior implementación de los SPT [17], [18], [5].

Para evaluar el estado actual del sistema de puesta a tierra debemos tomar en cuenta como base teórica las normativas reglamentos y regulaciones actuales que son válidas y rigen prácticas reconocidas internacionalmente.

Por tal motivo se ha considerado las siguientes normativas que se describirán a continuación:

- **IEEE 80-2000.**

En esta norma hace referencia al diseño de los SPT, la cual hace mención a dos puntos importantes los cuales son cuando el sistema está en condición normal de funcionamiento y el otro cuando se presenta eventos de falla.

Por otro lado, la IEEE en el término "centros médicos" para cualquier edificio asociado con un hospital, un hogar de ancianos, un centro penitenciario, una clínica o un consultorio dental, se deben seguir los pasos en ella descrita.

El objetivo principal que detallan en la norma son los siguientes:

- El diseño del SPT debe incorporar una forma o medio donde se pueda disipar corrientes eléctricas en el suelo sin exceder las limitaciones del dispositivo y su funcionamiento.
- Asegúrese de que no haya riesgo de electrocución en el personal que se circunde la instalación eléctrica.
- Definir limitaciones de seguridad teniendo en cuenta condiciones de falla de la estación eléctrica.

Teniendo en cuenta los criterios de esta norma los cuales abordan parámetros críticos de cálculo muy importantes los cuales se describen a continuación:

- La máxima corriente que pasa por el sistema mallado.
- La cantidad de tiempo en que la falla será despejada.
- Resistividad del suelo o terreno
- La resistividad que tiene la capa superficial
- La geometría de la malla

- **NEC (ecuatoriano) Reglamento de Seguridad**

En el apartado 250-1 especifica el nivel de su alcance. En esta normativa se presentan requerimientos para un SPT:

- Todos los equipos eléctricos y electrónicos a los cuales se exige deberán estar conectados adecuadamente a un SPT o conectados a tierra

- Las conexiones destinadas a tierra deben estar claramente ubicadas.
- Los calibres del cable que son destinados para el SPT deberán estar bien dimensionados.
- Aplicar correctamente la metodología previa para diseñar los SPT.

En el apartado de la norma 250-83 los literales c y d también nos menciona que las estructuras de metal conductiva, así como sus tuberías metálicas también deben ir conectada al SPT con excepción de las tuberías metálicas que en su interior contienen gas.

- **IEC Comisión Electrotécnica Internacional.**

Esta norma menciona la correcta utilización de la simbología y la facilidad para interpretar los gráficos que representa una instalación por ende tenemos las siguientes.

- **Simbología de Tierra.**

Se utiliza principalmente para representar un punto de tierra funcional, que generalmente se conectan a circuitos de prueba y medición. Estas estaciones no están diseñadas para conexiones a tierra seguras, y es un punto de referencia.

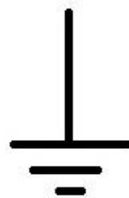


Figura 16. Simbología tierra.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

- **Equipotencialidad.**

Se utiliza en aplicaciones en las que se debe mostrar al operador donde se encuentran dos o más puntos conectados entre sí. Es utilizado con fines prácticos más que con fines de seguridad.

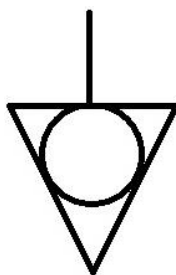


Figura 17. Terminal de equipotencialidad.
Elaborado por: Pablo Gualotuña.

Dentro de la normativa IEC 60364-7-710 mencionan a una instalación como un centro como médico si está destinado al diagnóstico y tratamiento se incluye la terapia cosmética, seguimiento y atención al paciente.

Esta norma divide los espacios dentro de los sistemas eléctricos para atención médica en tres grupos:

- Grupo 0: ubicación médica donde ningún dispositivo médico eléctrico está necesariamente en contacto con el paciente.
- Grupo 1: ubicación médica donde los dispositivos son dispositivos eléctricos, que invaden: contacto externo con pacientes.
- Grupo 2: un centro médico que utiliza equipos eléctricos para aplicaciones críticas como procedimientos cardíacos, quirófanos y terapias donde los cortes de energía pueden poner en peligro la vida.

Si hay varios SPT un edificio, todas estas deben ser interconectadas eléctricamente, de acuerdo con la norma IEC-61000-5-2. La **Figura 11** ilustra lo mencionado.

Los SPT que se muestran en las **Figura 9**, **Figura 10** también se encuentran prohibidos para el mismo edificio según la norma IEC 61000-5- 2.

- NFPA

Esta norma se la aplica para para proteger contra rayos, ya que es una normativa separada específicamente para la implementación de estos SPT. Y menciona también

que este SPT separado deberá ir conectado a la malla general o SPT general que contiene la edificación así lo menciona en la NFPA 780

2.12 Resistividad del suelo

En este sentido es la resistencia que tiene el suelo al pasar una corriente por está presentando un valor mayor o menor a su flujo.

Al realizar las mediciones de la tierra o terreno, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- a. Resistencia del terreno
- b. Resistencia que hace al momento del contacto con el suelo
- c. Características de resistencia que presenta el cable.

La resistencia de cable conductor lo especifica el que lo fabrica, lo importante es saber los valores de la resistividad que cuenta el terreno.

2.12.1 Definición.

Son las propiedades de resistencia que tiene un cubo del terreno a analizar y que puede oponerse al flujo de la corriente que pasa por ella, bien sea esta mayor o menor. Como se muestra en la **Figura 18** [3].

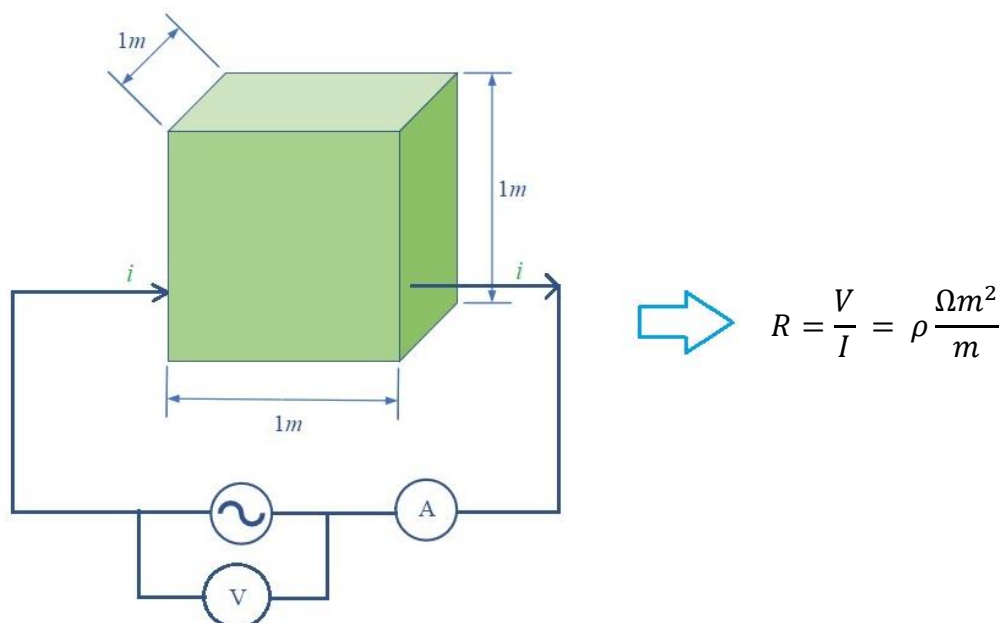


Figura 18. Resistividad del terreno.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

La resistencia del suelo se la puede calcular según la siguiente ecuación mostrada a continuación.

$$\rho = R \frac{A}{L} \quad \rho = \left[\frac{\Omega * m m^2}{m} \right] \text{ o } \left[\frac{\Omega * m^2}{m} \right] \quad (3)$$

Donde:

R: el valor de resistencia que ofrece a la oposición del flujo de la corriente en (Ω)

A: Es la sección transversal (m^2)

L: Es la distancia medid en (m) denominada longitud

Debemos de tomar en cuenta la relación de las dimensiones de la resistividad del terreno, por ende, es de práctica habitual simplificar sus unidades $\left(\frac{\Omega * m^2}{m}\right)$ e indicarla como $\rho = \Omega * m$

2.12.2 Factor o situación que merman la resistividad del suelo.

Los factores que merman las resistividades del suelo están sujetos a diferentes factores que se mencionan a continuación:

- **Por la naturaleza del terreno.**

Una de las reglas necesarias para determinar la composición de una malla a tierra es conocer la resistividad del terreno a diferentes profundidades. Por otro lado, también se debe conocer la resistividad según la naturaleza del terreno se aprecia en la Tabla del **Anexo B**.

- **Según su estratigrafía.**

El termino se refiere al hecho de que los suelos no son uniformes, sino que tienen varias capas, y están compuestas de diferente manera, por lo que su resistividad variara dependiendo de cada una.

Estas capas que están a más profundidad tienen resistencias promedio más bajas porque son ricas en humedad y minerales, o posiblemente más cerca de la superficie del agua.

La siguiente **Figura 19.** muestra la incertidumbre en la resistencia de profundidad si la medición no se toma con anticipación, y representara costo y tiempo.

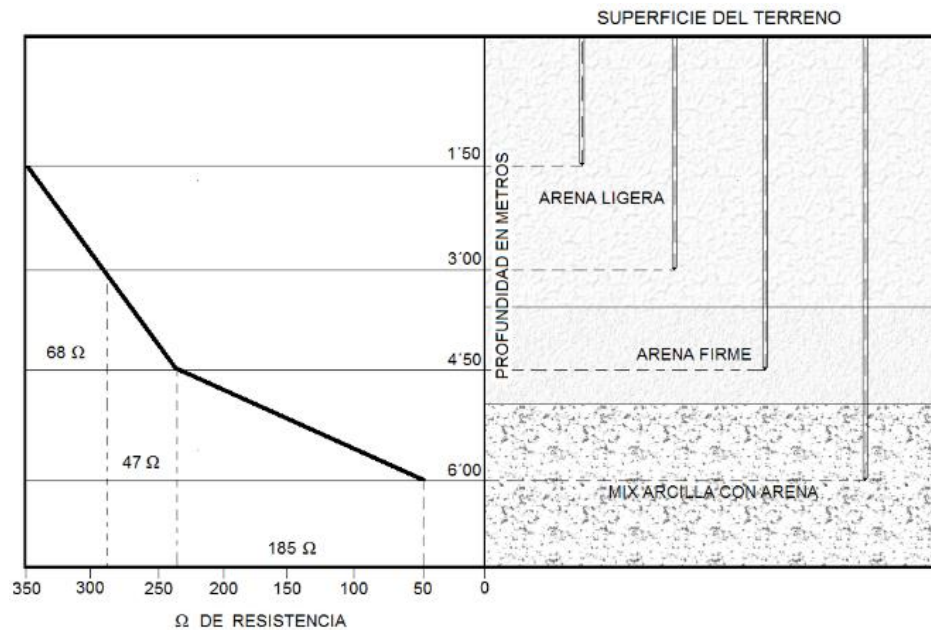


Figura 19. Estratigrafía del suelo y su resistividad[23].

- **Por la temperatura que puede tener.**

La resistividad que tiene la tierra permanecerá estable o no cambiara, y si en algún momento llegara a cambiar es porque está llegando al punto de congelación. Entonces la resistividad que tiene la tierra aumentara significativamente. Por lo que en la **Tabla 19** en su **Anexo G**, muestra cómo cambia la resistividad dependiendo de la temperatura de la arcilla arenosa.

- **Por la humedad del terreno.**

Cuando la humedad del suelo es bastante alta la corriente que atraviesa por ella pasara con más facilidad y hace que las sales se disuelvan, por lo que con una alta humedad

tiene más conductividad y menos resistividad del suelo. Estos parámetros se los visualiza en la **Figura 20**.

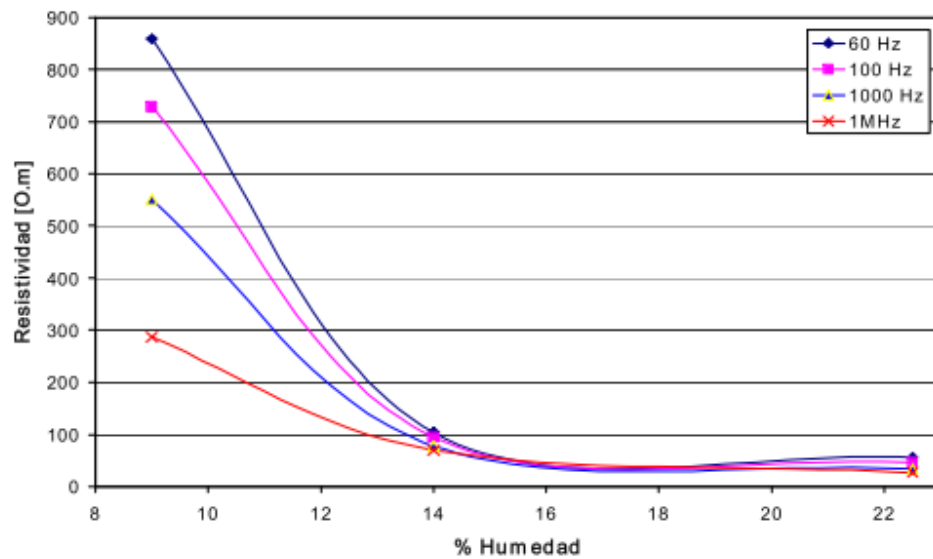


Figura 20. Resistividad en función de la Humedad [22].

- **Según las variaciones estacionales.**

En invierno, el nivel freático está más cerca del suelo debido a más precipitaciones, por lo que hay menos resistividad a la estación seca porque el nivel freático está más lejos del suelo.

Los cambios estacionales ocurren a lo largo del año, y cuanto más cerca está el electrodo del suelo, mayor es el impacto.

Para contener el nivel de resistividad dentro de los parámetros aceptables durante todo el año, se recomienda enterrar los electrodos profundamente en el suelo y (en lo posible) protegerlos de condiciones climáticas adversas.

La **Figura 21** muestra que la resistencia es mayor en verano a diferencia del invierno. Dado que si a las picas se las entierra más profundamente muestran menos fluctuaciones estacionales que los electrodos aparentemente enterrados.

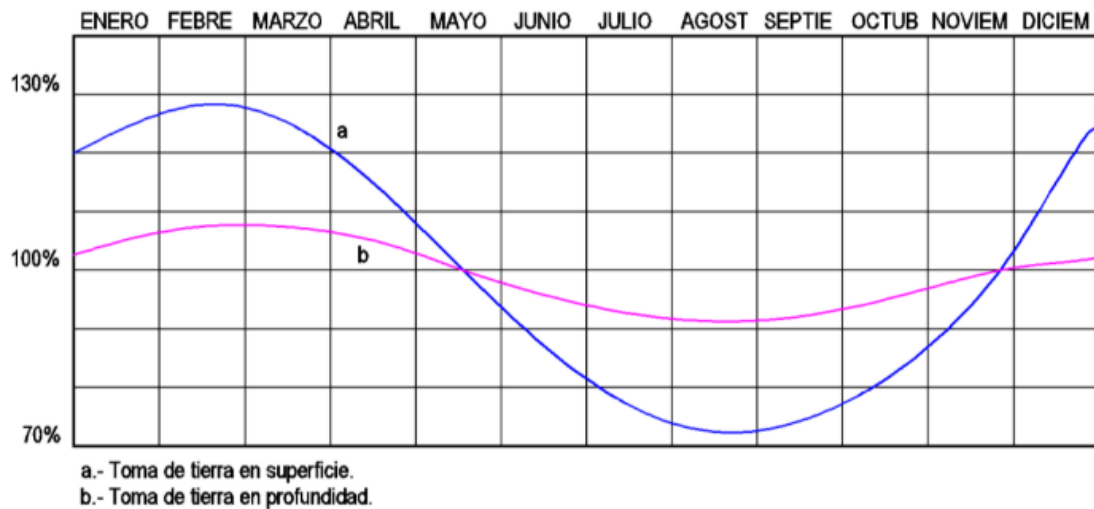


Figura 21. Resistividad en función de los cambios estacionales [23].

Si se entierra a más profundidad los electrodos o los colocamos debajo de los cimientos de un edificio, tenemos más garantías de mantener constante la resistividad.

- **Salinidad.**

Las sales tienen un gran efecto sobre la tierra o terreno, de hecho, uno de los sistemas que se suele utilizar para mejorar la conductividad pasa a ser la adición de sal y el riego con agua, en su defecto se aplica aditamentos suplementarios.

La cantidad de electrolito afecta significativamente la resistencia de la tierra. Dado que las sales minerales están presentes de forma natural en el suelo, si el suelo es un buen conductor o no depende de su concentración. En la **Tabla 20** del **Anexo H**, vemos la influencia significativa de la acumulación de sal con la reacción de resistividad del terreno.

- **Compactación.**

Cuando el suelo aumenta su firmeza o es más compacto la resistividad disminuirá. Es recomendable entonces que las picas sean introducidas en estos suelos firmes.

Con la varilla, la placa y los electrodos conductores enterrados instalados, la vibración del dispositivo de penetración crea un espacio entre la varilla y el suelo, de modo que la varilla o pica debe apretarse para hacer un buen contacto entre la varilla y el suelo.

- **Según los factores de naturaleza eléctrica.**

Del análisis en general se puede concluir que la resistencia de la tierra es muy diferente no solo en su composición, sino también por el clima que varía constantemente, y afecta directamente a todos los elementos ya tratados, La humedad y la temperatura, como la lluvia o el sol, son cambios ambientales que modifican el comportamiento de las capas superficiales de la tierra. Por lo tanto, en campos abiertos, es necesario colocar los electrodos o picas a una profundidad aceptable para protegerlos de estos cambios inevitables [25].

2.13 Mejoramiento del terreno o suelo con compuestos químicos.

Si las medidas de resistividad arrojan valores altos existe la posibilidad de mejora con compuestos químicos diferentes aditamentos, por ende, el suelo mejorará.

En el mercado existen diferentes tipos de compuestos químicos que son utilizados para este tipo de trabajos los culés se detallan a continuación.

- **Bentonita.**

Al usar la bentonita reduce significativamente la resistividad del terreno ya que esta cuenta con 2.5 Ω al 300% de humedad y no es tan corrosivo como el cloruro de sodio y que es muy utilizado para el tratamiento del terreno.

- **Cemento conductivo**

Es un compuesto granular de productos químicos estables que es similar al hormigón. Esto crea una estrecha relación entre la tierra y los electrodos de tierra y aumenta la vida útil al reducir el desgaste que se generan con el tiempo y los estados químicos cambiantes que componen el suelo.

- **Geles aditivos**

Compuesto químico complejo el cual se forma cuando las soluciones acuosas de sus componentes se mezclan con el suelo. La composición química resultante es de naturaleza coloidal y hace más fácil el fluir de la corriente para que puedan pasar en una dirección u otra. Convirtiéndose así en un excelente conductor eléctrico.

El tratamiento incluye la introducción de electrolitos en el pozo que, apilados en forma de gel, mejoran la conductividad del suelo y la retención de humedad a largo plazo en

el pozo para garantizar una reducción efectiva de la resistencia eléctrica y la estabilidad bajo la influencia del cambio climático.

Según las **Tabla 21** y **Tabla 22** que se muestran en el **Anexo I** y **Anexo J** se podrá visualizar las mejoras al aplicar este gel aditivo.

2.14 Criterio de voltajes tolerables

Es muy posible que la corriente eléctrica pueda fluir por el cuerpo, esto se convierte en un peligro diario en nuestra vida. Los sistemas eléctricos o circuitos eléctricos que están inherentes en el medio, se convierte pue sen un peligro que no lo podemos visualizar que comprometa la actividad humana diaria [17]. Al hacer un uso prolongado y el propio hábito a menudo nos llevan a fingir que no hay peligro. Olvidamos que la electricidad es siempre un peligro definitivo que nunca debemos olvidar.

Entonces, los operarios o personas designadas aun cargo que realizan algún trabajo de mantenimiento y que operan los sistemas eléctricos, el contacto involuntario con partes metálicas energizadas está a la orden del día. Mas aun personal médico y pacientes que a diario están en salas quirúrgicas y personal en general ya que de alguna u otra forma están en constante contacto con partes conductoras de electricidad, y estas son originadas por descargas atmosféricas o bien por sobrecargas en el sistema eléctrico, generándose así tensiones o voltajes de paso y de contacto.

Por ende, para resguardar la vida del personal, se deberá evitar que la persona atraiga gran cantidad de descargas eléctricas, existen límites tolerables de tensión que se detallan en las ecuaciones (4), (5).

2.14.1 Voltajes de toque o contacto

El estándar IEEE 80-2000 define el voltaje de toque o contacto de la siguiente manera.

Es el voltaje al cual una persona está sometida al momento tocar la parte metálica del sistema en contacto con el suelo. En un punto donde la persona está parada y la mano toca la estructura aterrizada al mismo tiempo. Lo apreciamos en la **Figura 22** [17].

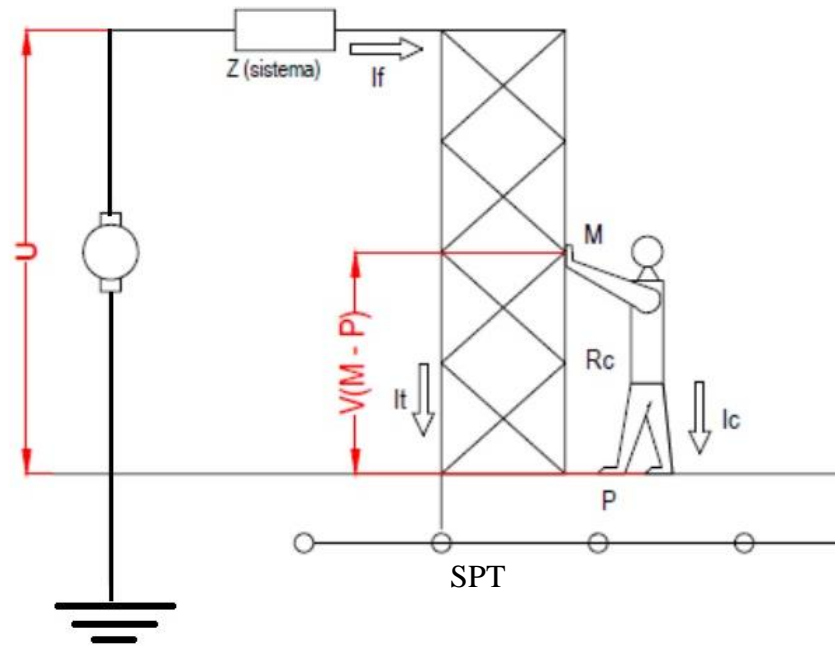


Figura 22. Ilustración del Voltaje o tensión de contacto [29].

Las ecuaciones que se visualizarán a continuación están descritas en la misma normativa.

$$V_{toque} = I_B(R_B + 1,5 * \rho) \quad (4)$$

Donde:

V_{toque} = Tensión de toque o contacto

I_B = Es la corriente que el cuerpo humano puede tolerar en ohmios (Ω)

R_B = Resistencia del cuerpo humano

ρ = Resistividad del suelo o terreno

2.14.2 Voltaje de paso

De acuerdo con el estándar IEEE 80-2000, Voltaje al que puede estar expuesta una persona que camina cerca del electrodo de tierra durante una corriente de falla y sus

pies están separados a una distancia entre ellos de un metro, este voltaje o tensión de paso lo podemos apreciar en la **Figura 23** [17].

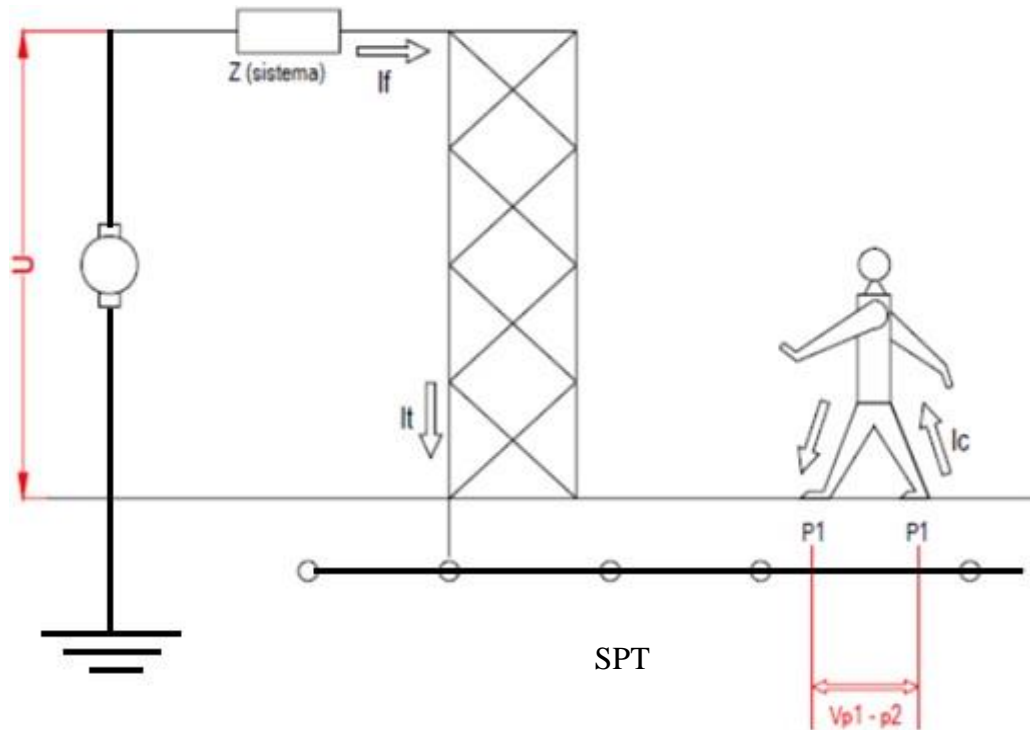


Figura 23. Ilustración del voltaje o tensión de paso [29].

Para poder calcular la tensión o voltaje de paso se la define por la siguiente ecuación la cual esta descrita en la misma normativa y se la puede apreciar de la siguiente manera:

$$V_{paso} = I_B(R_B + 6 * \rho) \quad (5)$$

V_{paso} = Tensión o voltaje de paso

I_B = Es la corriente que el cuerpo humano puede tolerar en ohmios (Ω)

R_B = Resistencia del cuerpo humano

ρ = Resistividad del suelo o terreno

2.14.3 Duración de la falla o tiempo de falla (t_f).

La corriente tolerable está en función del tiempo de falla (t_f) puede indicar tiempos de despeje rápidos. De esta manera, la elección o selección del (t_f) está sujeta a conducir a las peores condiciones que reducen la corriente de falla y la corriente que está permitidas en el cuerpo del humano. Por ende, teniendo en cuenta estos valores típicos, los cuales oscilan entre 0,25 segundos a 1 segundo en las condiciones más pesimistas [28]. Y la normativa IEEE 80-2000 también menciona que está entre los rangos de 0.03 – 3 segundos [17].

Poniendo en énfasis cuanto mayor sea la duración del tiempo de falla, menos corriente podrá tolerar el cuerpo humano y se vuelve más peligrosa.

Teniendo en cuenta este parámetro el tiempo de falla estará fijado en un tiempo de 0.25 segundos (s).

Por otro lado, esta corriente dependerá de un factor K , este factor depende de cuál sea el peso del sujeto estándar la cual es necesaria para realizar los cálculos, este factor K se lo menciona y se encuentra en la normativa IEEE 80-2000 en su sección 6.1, tales factores se detallan en la siguiente **Tabla 3**.

Tabla 3. Constantes o factores K en función del peso corporal.

Constante o factor	Peso corporal	
	70 (Kg)	50 (Kg)
K	0.157	0.116

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Teniendo en cuenta las constantes o factores K de la **Tabla 3** se podrá obtener diferentes valores para la corriente tolerable, y estarán determinadas por la ecuación que en la misma norma se lo menciona, la cual es:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_f}} \quad (6)$$

Cabe recalcar que la resistencia del cuerpo humano (R_B) varía mucho con respecto a su magnitud, estos valores pueden iniciar desde los 300 a 4000 ohmios (Ω), puesto que dependerá de la trayectoria que tome la corriente al suscitarse un evento, por otra parte, en la normativa se describe y destaca que se debe utilizar el valor de 1000 (Ω). Este valor estará presente para utilizarse en las ecuaciones (4), (5).

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología de medición de resistencia de las mallas a tierra del HGONA.

3.1.2 Ubicación de las mallas.

Para conocer dónde se encuentran ubicadas las mallas la siguiente figura se muestra el diseño de esquema referencial en los cuales se podrá visualizar los pozos de tierra de las mallas que son objetos de revisión del hospital HGONA. Y que serán objetos de estudio para el diseño de una nueva malla.

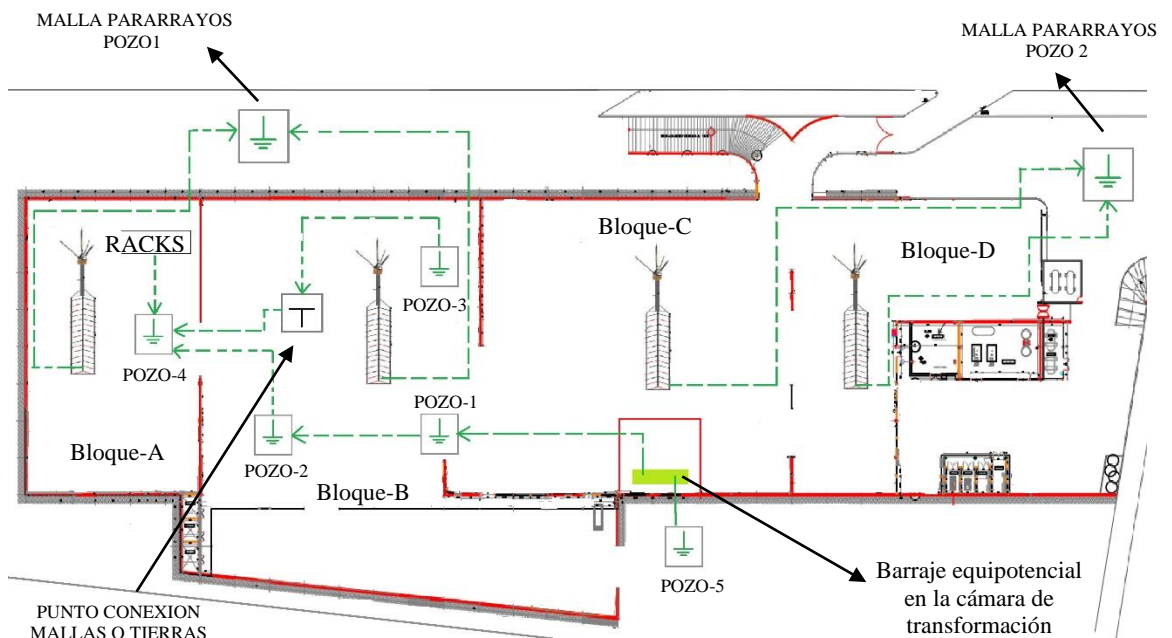


Figura 24. Ubicación referencial de las mallas a tierra del HGONA

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Al momento de ubicar las mallas o pozos de revisión en el hospital se procede a hacer las respectivas mediciones las cuales se le realizaron con el equipo proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana de la carrera de ingeniería eléctrica.

3.2 Pinzas medidora de las resistencias a tierra

Para conocer el estado actual en que se encuentran las mallas del hospital HGONA se procede a realizar las mediciones con el telurómetro FLUKE que fueron proporcionados por la Universidad estos equipos cuentan con 2 pinzas amperimétricas las cuales serán utilizadas para medir la resistencia de las mallas en los pozos de revisión previamente localizados y se los puede apreciar en la **Figura 24** .



Figura 25. Pinzas amperimétricas.

3.2.1 Distancia entre las pinzas de medición

Según el manual del del telurómetro FLUKE para poder realizar las mediciones de las distintas mallas que se encuentran en el hospital HGONA se debe colocar las pinzas en la varilla o pica que va a ser objeto de medición los cuales se encuentran en los pozos de revisión de las mallas del HGONA, entre ellas debe haber a una distancia mayor o igual a 10 *cm* entre pinza y pinza, ya que esta inyectara o inducirá un voltaje fijo en una pinza y medirá la corriente en la otra pinza, y el equipo automáticamente arrojará los resultados de resistencia para poder obtener los datos de la resistencia de esa malla.

Esta distancia recomendada se lo puede apreciar en la guía de referencia rápida del telurómetro FLUKE 1623-2/ 1625-2 que se encuentra en el **Anexo O**.

Este procedimiento se lo realizará para las cuatro mallas que se encuentran en el subsuelo del hospital y también se le realizarán para la malla que se encuentra en la

parte exterior del hospital (Pozo 5) estas mallas se las pueden identificar en el esquema de la **Figura 24**.

Se aprecia entonces en la siguiente figura el distanciamiento entre pinza y pinza.

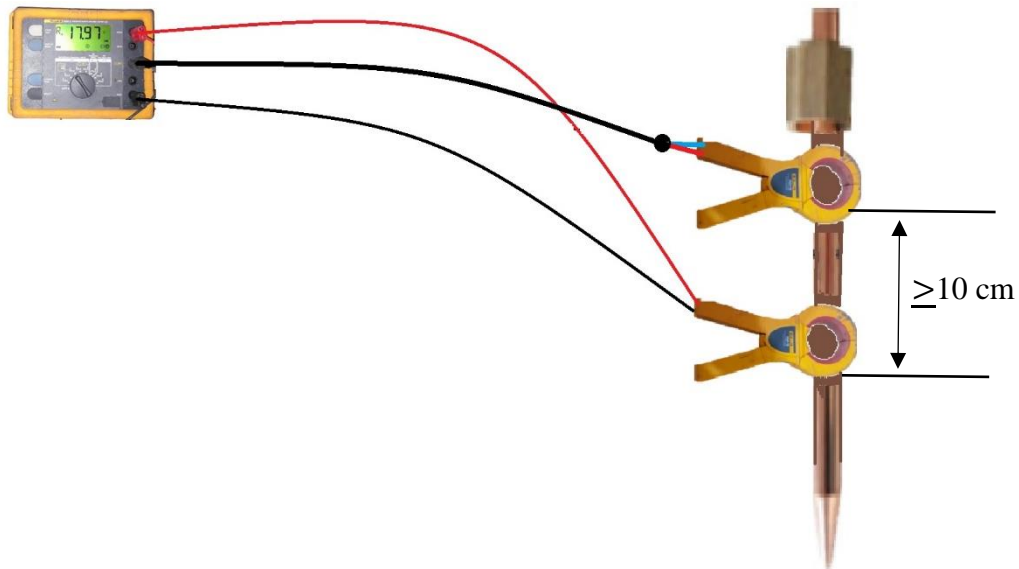


Figura 26. Distancia entre pinzas para la medición de las mallas.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

3.2.2 Procedimiento en las mediciones.

Para poder realizar estas mediciones en los pozos de revisión de las mallas existentes del subsuelo del hospital se siguieron los siguientes pasos:

- Se identificó previamente ubicación de las cajas de revisión de las mallas.
- Se señaló mediante conos a cada uno de los pozos de revisión, cabe recalcar que en el subsuelo están los parqueaderos y por ende se debía poner estos conos para evitar que los vehículos se parqueen encima de las cajas de revisión de las mallas.
- Al momento de abrir las tapas de los pozos de revisión se encontró con restos de construcción.
- Se procede a limpiar los mismos, esto para poder introducir las pinzas y poder medir la resistencia de las mallas.
- Esto se lo realizó para todos los pozos de las mallas.

Este proceso de limpieza se lo pude observar en la siguiente **Figura 27** antes de la toma de mediciones.

- Se identifico previamente ubicación de las cajas de revisión de las mallas.
- Se señalo mediante conos a cada uno de los pozos de revisión, cabe recalcar que en el subsuelo están los parqueaderos y por ende se debía poner estos conos para evitar que los vehículos se parken encima de las cajas de revisión de las mallas.
- Al momento de abrir las tapas de los pozos de revisión se encontró con restos de construcción.
- Se procede a limpiar los mismos, esto para poder introducir las pinzas y poder medir la resistencia de las mallas.
- Esto se lo realizo para todos los pozos de las mallas.



Figura 27. Limpieza de los pozos de revisión de las mallas.

Habiendo realizado los pasos antes mencionados se procede a utilizar el equipo telurómetro FLUKE proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana. Siguiendo los pasos que nos indica en el manual y como conectarlos.

- Se conectan los cables para el método de 3 polos
- Primer cable rojo banana-banana en el orificio de conexión “H/C2” esto es para la masa auxiliar de la pinza que va en la parte inferior de la pica de medición
- El segundo cable se conecta a la pinza que va en la parte superior de la varilla a ser medida, este cable es para detectar la pinza de corriente de prueba.
- El tercer cable negro banana-banana se lo conecta en el orificio “E/C1” para el electrodo de masa-tierra que va a ser medido de igual forma la pinza se encuentra en la parte inferior de la pica que va a ser medida.
- Se procede a girar la perrilla del telurómetro y se lo pone en la opción de tres polos
- Oprimimos el botón START TEST, y esperamos que el equipo arroje los resultados
- Se tomarán los datos arrojados por el telurómetro.

En la siguiente figura que fue tomada por el autor se visualiza lo descrito en los pasos anteriores que describe el manual de procedimiento para la recolección de datos.

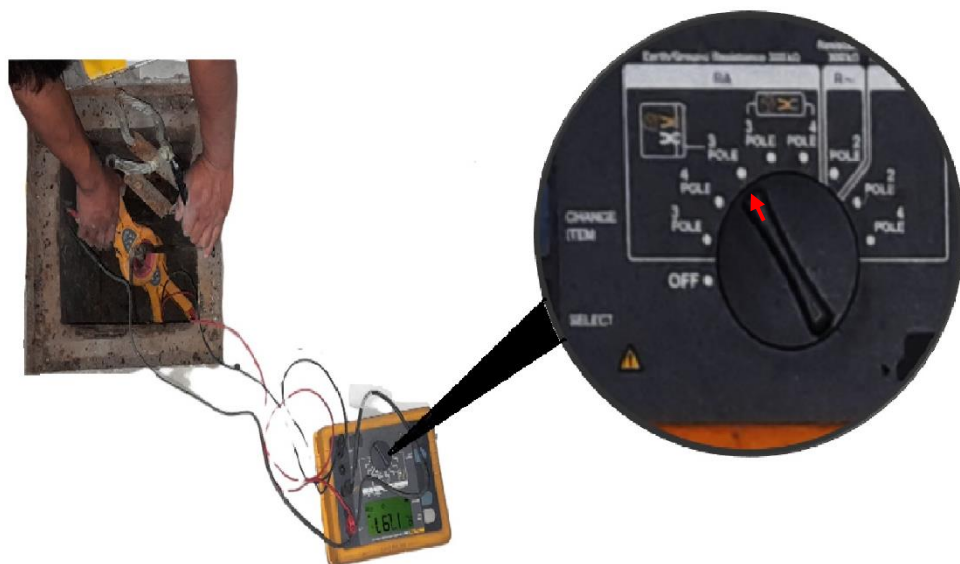


Figura 28. Conexión de los cables al telurómetro y selección de 3 polos
Elaborado por: pablo Gualotuña

3.3 Mediciones obtenidas.

Habiendo realizado todos estos pasos en la **Tabla 4** donde se describe los valores obtenidos de resistencia de las mallas en cada uno de los pozos de revisión que componen al hospital HGONA.

Estos datos obtenidos de medición de campo también se los podrá visualizar en las imágenes recolectadas por el autor en el **Anexo P**, los cuales fueron tomados para su respectivo análisis.

Tabla 4. Resultados de resistencia obtenido de las mallas con el telurómetro FLUKE.

<i>Pozo o caja de revisión</i>	<i>Resistencia de la malla</i> (Ω)
1	17.97
2	15.89
3	15.24
4	18.54
5	24.86

Elaborad por: Pablo Gualotuña

Apreciando la **Tabla 4**, estos resultados de los valores obtenidos están fuera de los rangos de resistencia recomendados para instalaciones hospitalarias. Para tener una mayor comprensión de cómo están estos SPT del hospital HGONA se debe observar la siguiente tabla que nos muestra la calidad de los SPT y la resistencia que deberían tener para poder estar dentro de los rangos establecidos en las diferentes normas ya citadas por ende es indispensable comparar estos valores obtenidos en campo con la utilización telurómetro FLUKE proporcionado por la Universidad Politécnica Salesiana según la calidad de los SPT establecidas en norma para las infraestructuras hospitalarias y equipos sensibles.

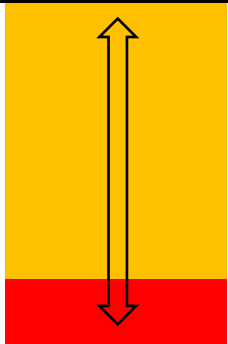
Tabla 5. Calidad de los SPT [18].

<i>Resistencia del SPT (Ω)</i>	<i>Calidad del SPT</i>	<i>SPT Hospital</i>
< 1	Excelente	-----
Entre 1 y 5	Muy buena	-----
Entre 5 y 10	Buena	Malla general - Pararrayos - Equipos sensibles
Entre 10 y 15	Aceptable	-----
Entre 15 y 20	Regular	-----
> 20	Mala	-----

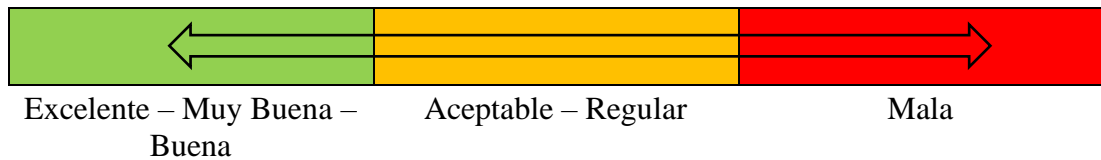
Analizando entonces la **Tabla 5**, con nuestras medidas obtenidas en campo se procede hacer su respectiva comparación y determinar cómo se encuentran los SPT del hospital en cuestión. Los datos recolectados se los tomaron en época seca para tener a los valores más reales posibles.

Por lo que en la siguiente **Tabla 6** se hace la comparación en cuestión de la siguiente manera. Estos valores obtenidos con el telurómetro véase el **Anexo Q, Anexo R**

Tabla 6. Comparación de los resultados obtenidos con la calidad de los SPT

<i>Caja o pozo de revisión</i>	<i>Resultado obtenido de resistencia las mallas del HGONA en (Ω)</i>	<i>Niveles de resistencia recomendados en (Ω)</i>	<i>Calidad del SPT del HGONA</i>	<i>Excedente en (%)</i>
Pozo 1	17.97	10		7.97
Pozo 2	15.89	10		5.89
Pozo 3	15.24	10		5.24
Pozo 4	18.54	10		8.54
Pozo 5	24.86	10		14.86

Elaborado por: Pablo Gualotuña



Conociendo la calidad de los SPT que se encuentran en el subsuelo del hospital, en la sección de recomendaciones se propondrá una mejora a los mismos. Los cuales ayudaran a mejorar los niveles de resistencia de las mallas para que se puedan encontrar dentro de los rangos permisibles y cumplan con las normas.

3.4 SPT de los Pararrayos.

De la misma manera que se procedió en las mediciones de las mallas del subsuelo, se hace lo mismo, pero en este caso para los SPT de los pararrayos que conforman ala hospital.

El hospital en cuestión está conformado por 4 bloques que están denominados así en **Figura 24**, cada uno de estos bloques está conformado por sus respectivos pararrayos que en total son 4 y dan seguridad a la infraestructura al momento de presentarse descargas atmosféricas.

Este sistema de pararrayos es de vital importancia ya que este también conforma al sistema eléctrico del HGONA. Y que cuenta con sus niveles de protección que se menciona en la norma IEC 62305-1, por lo tanto, estos sistemas de protección contra el rayo o descargas atmosféricas también deben cumplir ciertos estándares de calidad.

3.4.1 Medición de los SPT de los pararrayos

En el siguiente esquema se podrá verificar que los SPT de los pararrayos se encuentran en las afueras del hospital, más específicamente en las áreas verdes que lo conforman al mismo.

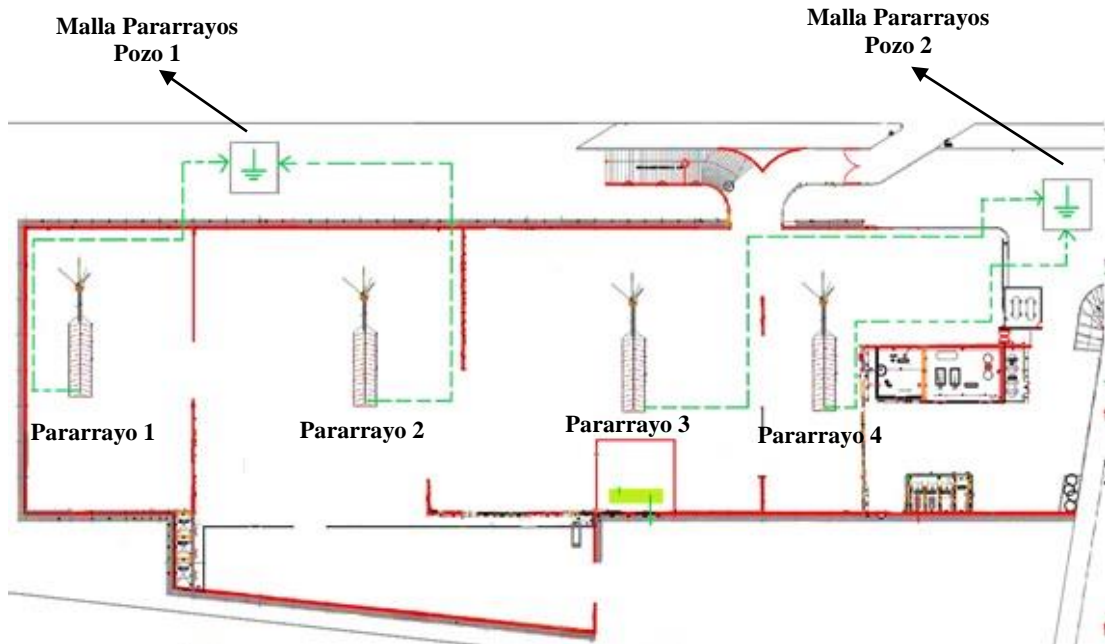
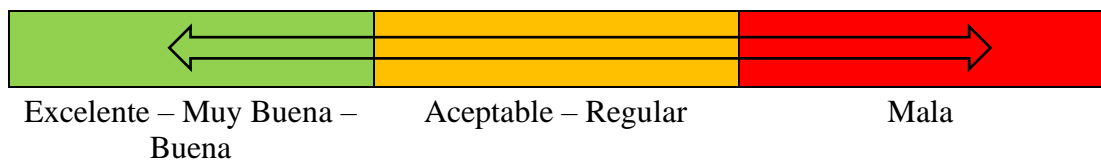


Figura 29. Pozos de revisión de las mallas de los pararrayos del HGONA.

Tabla 7. Comparación de los SPT de los pararrayos con la calidad de la resistencia requerida.

<i>Caja o pozo de revisión</i>	<i>Resultado obtenido de resistencia las mallas del HGONA en (Ω)</i>	<i>Niveles de resistencia recomendados en (Ω)</i>	<i>Calidad del SPT del HGONA</i>	<i>Excedente en (%)</i>
Malla de tierra Pozo 1	5.85	10		----
Malla de tierra Pozo 2	24.35	10		14.35

Elaborado por: Pablo Gualotuña



Como se observa en la tabla anterior la única malla de que cumple con los rangos establecidos de calidad de los SPT es la malla de los pararrayos 1 y 2 la cual tiene una resistencia de 5.85 Ω y cumple con las comparaciones hechas en las tablas ya descritas.

A diferencia de la anterior malla, la malla de los pararrayos 3 y 4 ni siquiera cumplen con estos parámetros de rangos establecidos. Por tal motivo esta malla se encuentra en mal estado.

3.5 Criterios a considerar para diseñar un SPT basado en norma.

Al momento de hacer un diseño que contempla la ingeniería en primer lugar se debe analizar los aspectos técnicos que requiere el proyecto, verificando planos existentes, para escalar adecuadamente cada sistema. Para nuestro caso de estudio en particular se deberá dimensionar una malla a tierra, por ende, se debe tener claro ciertos parámetros básicos que nos servirán de guía y la podemos encontrar en la norma estándar de la IEEE 80-2000 en la sección 9.4 la cual trata sobre aspectos básicos de diseño de red y en la sección 9.6 sobre conexión a la red.

Para esto revisaremos estos procedimientos:

3.5.1 Aspectos básicos de diseño.

- Un SPT típico puede tener o estar constituido por conductores de cobre 4/0 desnudo dispuestos en un patrón de cuadrícula mallada espaciados de 12 a 18 pulgadas (30 a 50 cm) por debajo de la superficie y de 10 a 20 pies (3 a 7 m) por encima de la superficie.
- Las varillas de copperweld si el diseño así lo requiere serán de mayor longitud para suelos que tengan mayor resistencia esto ayudara al SPT que su valor sea mínimo.
- La construcción de la malla a tierra de igual forma si se requiere utilizar más reticulado en su diseño y aumentar el cable se lo hará respetando las normas planteadas. Utilizándolas en lugares donde pueden ocurrir grandes eventos de fallas.

3.5.2 Conexión.

Se utilizarán conductores del tamaño adecuado o dimensionamiento correcto de acuerdo con el IEEE 80-2000 en su clausula 11 con capacidad suficiente y resistencia mecánica en las conexiones siguientes:

- Todas las avarillas o picas, la malla y tuberías de agua en caso de ser utilizados, y esta norma establece que no se debe utilizar ninguna tubería de gas.
- Los elementos metálicos en tierra que sean conductores y puedan ser colocados accidental o intencionadamente a diferentes potenciales deben estar conectados entre sí y por tanto al SPT.
- Las fuentes que poseen corrientes falladas, como pararrayos, condensadores conductores, bancos de condensadores, transformadores y principales máquinas que se encuentran dentro de la infraestructura.

La norma también estipula que se pueden utilizar construcciones de metal para despejar la corriente en un evento de falla a tierra en lugar de un cable tendido, siempre que la conductividad sea técnicamente equivalente a la de un conductor. en este caso se debe tener cuidado de que la estructura no contenga elementos que puedan reducir las propiedades de conductividad, tales como:

- Recubrimientos de pintura
- Defectos mecánicos evidentes.

3.6 Resistividad del suelo o terreno.

Para el efecto de medición de la resistividad del suelo se ocupa tener los equipos acordes al trabajo a realizar.

3.6.1 Utilización de los equipos

Dentro de este contexto se nos otorgaron los permisos correspondientes para poder hacer usos del equipo de medición telurómetro FLUKE, que nos proporcionó la Universidad Politécnica Salesiana de la Carrera de Ingeniería Eléctrica. Observemos las **Figura 30** y **Figura 31**.



Figura 30. Equipo de medición.



Figura 31. Elementos indispensables para el telurómetro.

Las funciones que posee el equipo se adjuntan en el **Anexo S**, que describe el manual de usuario.

El equipo de medición además posee 4 características fundamentales de las tantas que posee y puede realizar cualquiera de las siguientes mediciones de toma de suelo.

- Medición de comprobación sin contar con varillas solo con el uso de pinzas.
- Mediciones de la resistividad del suelo o terreno de 4 hilos con la utilización de las cuatro picas o varillas.
- Comprobación selectiva con la utilización de una pinza y una pica

3.6.2 Método Wenner

El método de Wenner es uno de los más utilizados en el mundo, ya que consiste de 4 electrodos que están dispuestos en línea recta y equidistantes o dicho de otra manera se encuentran a una misma distancia entre pica y pica, conectados por un telurómetro, cuyo trazado es una sola dirección correspondiente al electrodo en estudio, la cual determina sus capas de medición. Las mediciones que se obtengan de la resistividad dependen de las distancias entre los electrodos.

El método de Wenner utiliza el principio de medición donde se inserta una corriente continua I que atraviesan la tierra por las picas que se encuentran en los extremos y se mide la tensión V en las picas centrales. Y se obtiene la resistividad aparente del terreno en función de la relación V/I , y (a) es la que representa el espaciamiento de las picas, mientras que (b) su profundidad de enterramiento [2].

Se lo puede observar en la **Figura 32**.

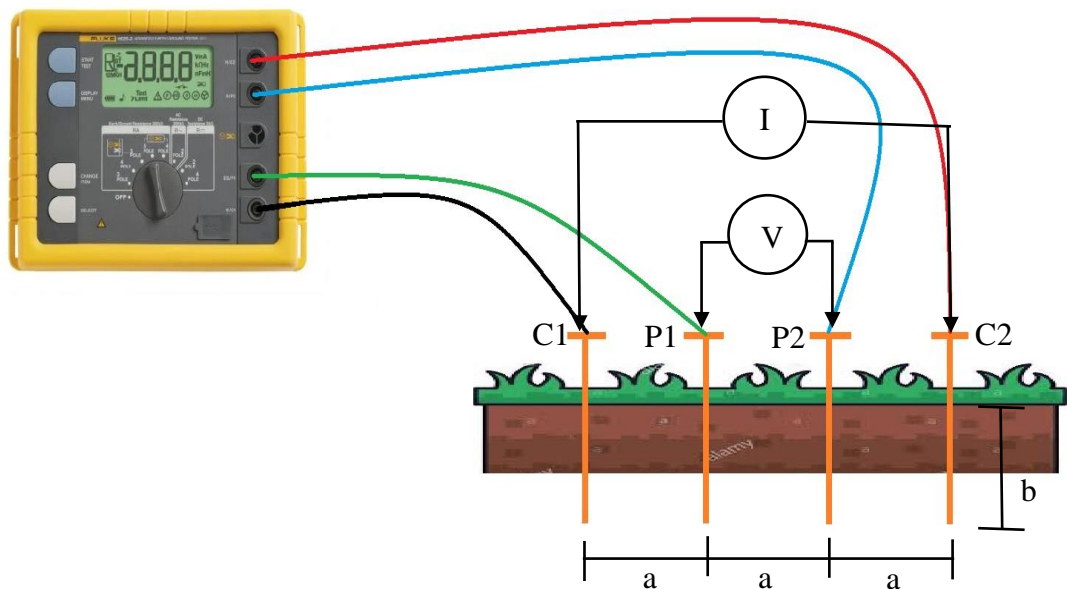


Figura 32. Método de Wenner
Elaborado por: Pablo Gualotuña

3.7 Procedimiento.

Para realizar las mediciones y toma de dato se deberá seguir una serie de pasos que a continuación lo mencionamos.

- **1er paso**

Procedemos a identificar el área donde se realizará las mediciones correspondientes y donde se preverá que va a ir el SPT, en nuestro caso el área con la que contamos para poder diseñar nuestra malla es de 168 m^2 24 metros de largo por 7 de ancho, esta área donde se va trabajar se encuentra en la parte exterior de la edificación del HGONA, es un área bastante considerable para nuestro diseño ya que es el único lugar en donde no está compuesto de concreto, por lo tanto se tomó una decisión de trabajar en esa área y además está más cerca de la cámara de transformación, con respecto a las otras áreas verdes de ornamentación. El área de estudio se lo podrá visualizar en el **Anexo T**.

- **2do paso**

Comprobamos previamente a las mediciones el buen funcionamiento de los equipos de medición para no tener ningún inconveniente en la toma de datos.

- **3er paso**

Para no tener dificultades al momento de introducir los electrodos a las diferentes distancias se procede a templar una piola en línea recta la cual nos servirá de referencia para para las distintas distancias entre los electrodos y que los electrodos se encuentren en la misma línea de medición, lo podemos corroborar en el **Anexo U**.

- **4to paso**

Identificado ya el área y equipos se procede a marcar los puntos de medición, mirar el **Anexo U**, para nuestro caso las medidas se los tomaron en línea recta como lo mencionada por el método de Wenner.

- **5to paso**

La configuración de las mediciones para nuestro caso que fue en línea recta se lo puede identificar en el esquema de la **Figura 33, Figura 34, Figura 35 y Figura 36**.

Medición 1

Para nuestra primera medición se la realizo a 2 metros de distanciamiento entre pica y pica o más conocido como electrodo en sentido E – O

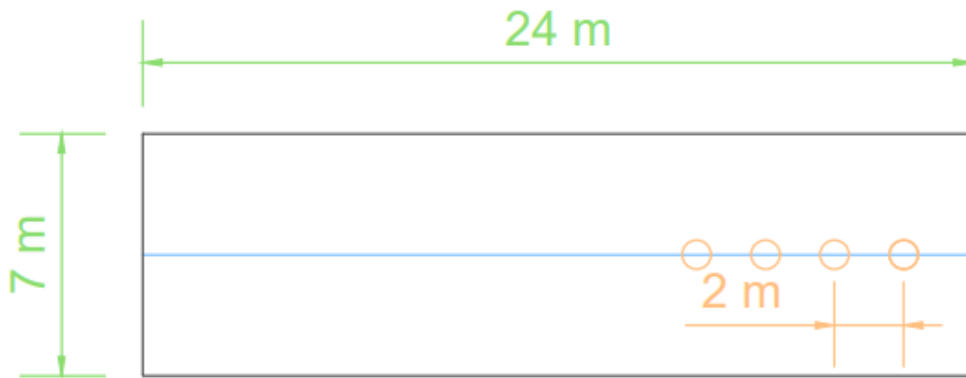


Figura 33. Esquema de medición a una distancia de 2 m entre electrodos.

Medición 2

Para esta medición la distancia entre los electrodos es de 4 metros de igual manera en sentido E – O

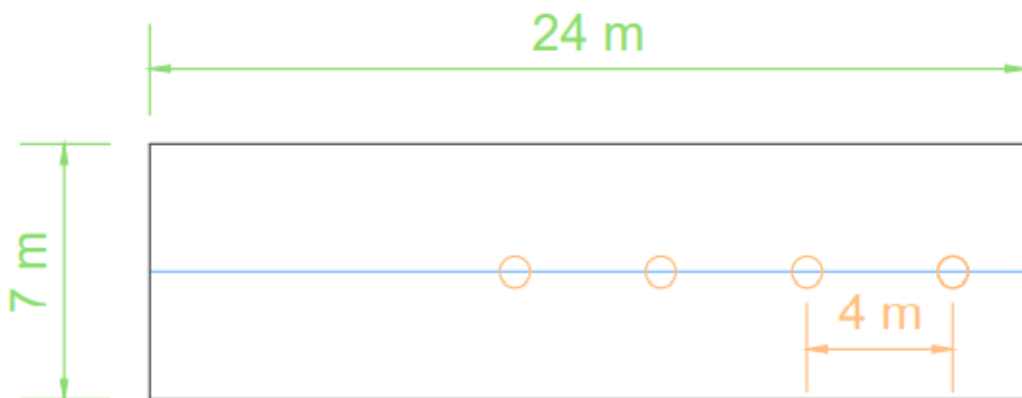


Figura 34. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 4 m

Medición 3

Para esta medición la distancia entre los electrodos enterrados fue de 6 metros

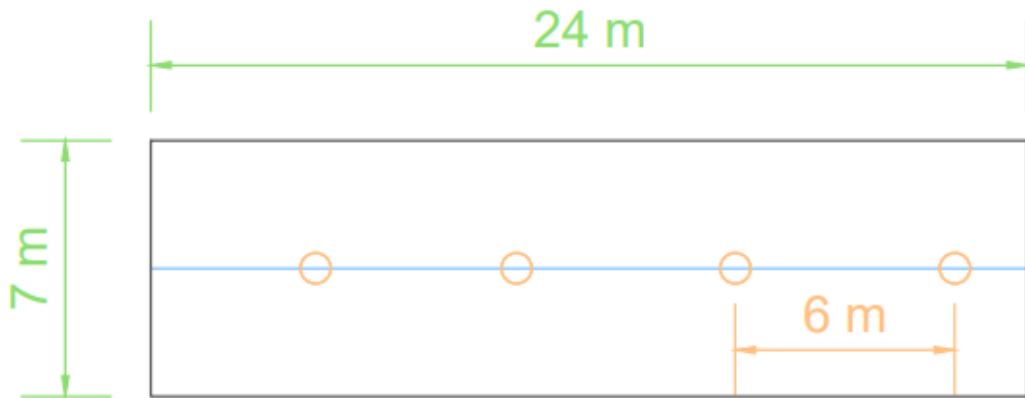


Figura 35. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 6 m

Medición 4

De la misma manera que las anteriores la medición fue hecha de E – O, pero en este caso la distancia entre electrodos fue de 8m la cual ya ocupó todo el largo de mi área.

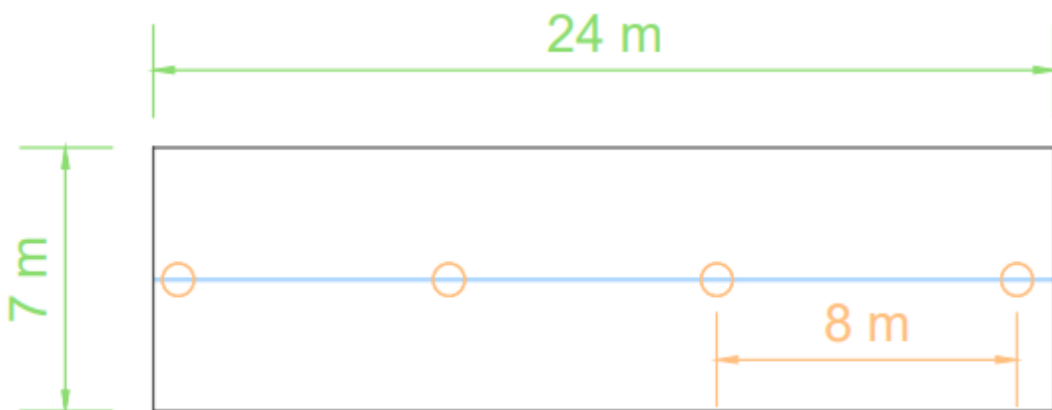


Figura 36. Esquema de medición a una distancia entre electrodos de 8m

- **6to paso**

Al haber realizado todas las señalizaciones a distintas distancias introducimos el electrodo a una profundidad de 33cm que luego nos servirá para obtener la resistencia aparente con las medidas obtenidas en campo.

- **7mo paso**

En este paso después de haber enterrado los electrodos deberemos conectar los cables correspondientes a los electrodos denominados P1, P2 y C1, C2 como se muestra en la **Figura 32**.

- **8vo paso**

Luego de realizar el paso anterior se procede a encender el equipo de medición telurómetro en el cual seleccionamos el tipo de prueba que vamos a realizarlo, en este caso se selecciona la prueba de resistencia de 4 polos, esto se lo puede corroborar con el mismo manual de usuario que ya viene con los equipos de medición. Hecha esta averiguación procedemos a pulsar el botón START TEST del telurómetro, el cual nos arrojará los resultados de resistencia del terreno en ohmios para el cual fue hecha la prueba.

- **9no paso**

Tomamos nota de los resultados arrojados por el telurómetro y de la misma forma lo hacemos para las otras distancias que son de 2 m, 4 m, 6 m y 8 m respectivamente.

3.7.1 Precauciones en las mediciones.

Se debe tener en cuenta que los que los electrodos estén limpios y libres de óxido, que no haya varillas, rejillas de puesta a tierra, estructuras metálicas u otros tubos que sean conductores que puedan afectar al análisis de los resultados de la medición.

3.7.2 Resultados obtenidos.

Después de realizar todas las mediciones en el área de trabajo en la siguiente **Tabla 8** se presentan los datos obtenidos a diferentes distancias entre electrodos.

Tabla 8. Resultados de campo obtenidos del hospital HGONA

<i>Distancia entre electrodos</i> (<i>m</i>)	<i>Resistencia</i> (Ω)
---	------------------------------------

2	4.57
4	1.74
6	1.05
8	0.66

Elaborado por: Pablo Gualotuña

3.7.3 Resistividad del suelo-cálculos.

Obteniendo los resultados previos a mediciones con el equipo telurómetro se obtendrá la resistividad aparente del suelo y con la ecuación que nos proporciona la IEEE 80-2000 en la sección 13.3, mediante la siguiente formula.

$$\rho_T = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + 4b^2}} - \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}} \quad (7)$$

Donde:

ρ_T = Resistividad aparente que tiene el terreno en [Ω *m]

R = valor obtenido con la medición de su resistencia [Ω]

a = Es el espacio longitudinal vertical de los electrodos [m]

b = Profundidad a la que se entierra los electrodos [m]

Con los valores obtenidos en las mediciones en campo procedemos a utilizar la ecuación (7) para obtener los valores de resistividad aparente que se presentan en siguiente **Tabla 9**.

Tabla 9. Resistividad calculada en base a la Tabla 8.

<i>Distancia entre electrodos en (m)</i> <i>Valor de a</i>	<i>Profundidad de enterramiento de electrodos en (m)</i> <i>Valor de b</i>	<i>Resistencia aparente, datos del telurómetro en (Ω)</i>	<i>Resistividad calculada en (Ω*m)</i>
2	0.33	4.57	60.039
4	0.33	1.74	44.25
6	0.33	1.05	39.79
8	0.33	0.66	33.27

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Con los datos obtenidos de las resistividades aparentes de todas estas mediciones, se procede a utilizar el programa CYMGrd, ya que este programa nos ayudara a obtener la resistividad del terreno además de la profundidad de los estratos que este compuesto según los datos ingresados de la resistividad aparente.

De esta manera se utilizará los resultados de **Tabla 8**, en el programa ya mencionado y se puede visualizar en la siguiente **Figura 37**.

	Activado	Distancia entre las sondas (m)	Resistividad (ohm-m)
1	<input checked="" type="checkbox"/>	2	60.039
2	<input checked="" type="checkbox"/>	4	44.25
3	<input checked="" type="checkbox"/>	6	39.79
4	<input checked="" type="checkbox"/>	8	33.27

Duración del choque eléctrico	0.25 secs
Resultados de salida	
Espesor de la capa superior	2.2 metros
Resistividad de la capa superior	44.34 ohm-m
Resistividad de la capa inferior	29.84 ohm-m

Figura 37. Datos ingresados de la resistividad aparente y la distancia entre electrodos

Elaborado por: Pablo Gualotuña

El programa también cuenta con la función de graficar la curva característica que está en función de la resistividad (Ω *m) y la longitud (m) entre cada electrodo. Y se lo visualiza en su **Figura 38**.

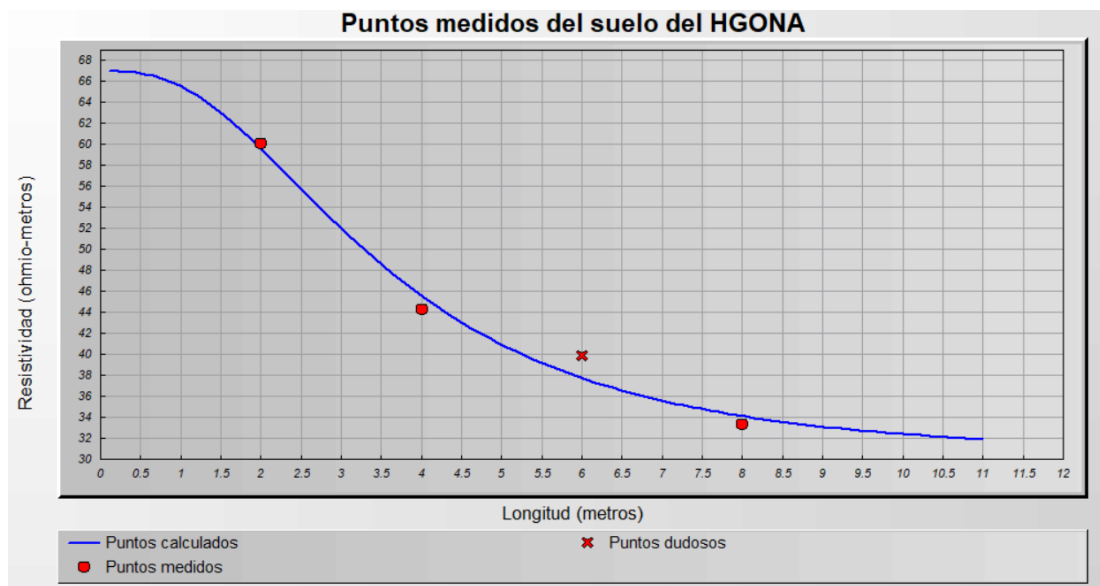


Figura 38. Curva de la resistividad del suelo con electrodos enterrados a diferentes longitudes.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

La interpretación de los datos obtenidos, contemplamos que la resistividad de la capa superior es 44.34 ($\Omega \cdot m$) y se encuentra a una profundidad de 2.2 m, y para la resistividad de la capa inferior nos arroja un valor de 28.84 ($\Omega \cdot m$) que de igual manera se encuentra a una profundidad de 2.2 m.

Ahora bien, tomando en cuenta estos valores de la capa superior el cual nos permitirá trabajar con el tipo de electrodo de longitud de 2.4m que describe la norma, podremos entonces utilizar el valor de resistividad que es de 44.34 [$\Omega \cdot m$]. este valor será utilizado para realizar el diseño del SPT.

CAPÍTULO IV

DISEÑO

4.1 Equipotencialidad Bobinas de choque o vías de chispa

Para implementar las bobinas de choque se debe realizar las inspecciones correspondientes en los lugares donde se desea instalar en este caso el hospital HGONA, por lo cual debe primero cumplir con una regla fundamental para su implementación.

Se visualiza la siguiente ecuación.

$$d_s = a_n \frac{K_i}{K_m} 1 \quad (8)$$

Donde:

d_s Distancia de seguridad

a_n = Número de bajantes de los pararrayos

$$a_n = \begin{cases} 1 & \text{Cuando hay una bajante} \\ 0.6 & \text{Cuando hay dos bajantes} \\ 0.4 & \text{Cuando hay tres o más bajantes} \end{cases}$$

K_i Se debe elegir según el nivel de protección

$$K_i = \begin{cases} 1 & \text{nivel I requerido para su proteccion} \\ 0.075 & \text{nivel II requerido para su proteccion} \\ 0.05 & \text{nivel III requerido para su proteccion} \end{cases}$$

Este coeficiente K_i se deberá elegir de acuerdo al nivel isocerámico en el país y ubicación en la que se encuentre véase el **Anexo Z**.

K_m es la selección del material

$$K_m = \begin{cases} 0.5 & \text{aire} \\ 1 & \text{cuando tiene material en su interior} \end{cases}$$

1 al ser su distancia que está en vertical que está más cercana al punto de conexión de la barra equipotencial más próxima.

Entonces aplicando la ecuación (8) nos queda:

$$d_s = 4 \cdot \frac{0.075}{1} 1 = 0.3 [m]$$

Esto quiere decir que si la barra de cobre equipotencial donde se conectan todos los SPT, que se encuentra en la cámara de transformación, no está cerca a la barra equipotencial de cobre donde están conectados los conductores bajantes de los pararrayos, no es necesario realizar la implementación de las vías de chispa. Por lo que debe haber una distancia (d) mínima entre estas barras de cobre, la distancia (d) que se tiene en el HGONA es de más de 40 m. Por lo tanto, esta distancia es mucho mayor que (d_s) véase el **Anexo N**, dicho de otra manera, cuando no se respetan las distancias de proximidad no se implementa la vía de chispa.

$$d < d_s$$

Según la norma UNE 21186 si la barra de cobre no está próxima y no se visualiza que este eléctricamente en unión con tierra se desiste de la conexión de la vía de chispa [36]. Puesto para nuestro caso de estudio la distancia entre la barra de cobre equipotencial y la malla de los pararrayos está a varios metros de distancia. Tomando esta consideración se procede con el diseño de una nueva malla de tierra que a continuación se presenta.

4.1.1 Diseño del SPT del HGONA lugar de estudio.

El hospital HGONA se encuentra ubicado en las calles de la Av. Quitumbe Ñan y Fenicio Angulo, en el sur de la capital.

Este hospital es de tercer nivel de atención especializada, está construido en un área de 29790,81 m² para atender a personas en estado de gestación en todo su periodo.

Esta infraestructura esta dividida por cuatro bloques. Cada una de ella cumple una función específica en coordinación con todo el personal que en el trabajan. Las instalaciones también cuentan con casetas donde se encuentran los tanques de Diesel, calderas y los tanques de GLP.

Los planos de la edificación se adjuntan en los **Anexo M** respectivamente, por ende, es necesario saber dónde se encuentra el transformador del hospital para poder realizar los cálculos para el diseño del SPT, ya que es de vital importancia tener los datos de placa del transformador ya que con este encontraremos la corriente de cortocircuito, para poder realizar el diseño y dimensionamiento de la malla.



Figura 39. Ubicación del HGONA

Para poder empezar a realizar los cálculos de nuestra malla en la siguiente **Figura 40** daremos a conocer los datos del transformador que fueron obtenidos al ingresar a las instalaciones previo a una visita técnica.

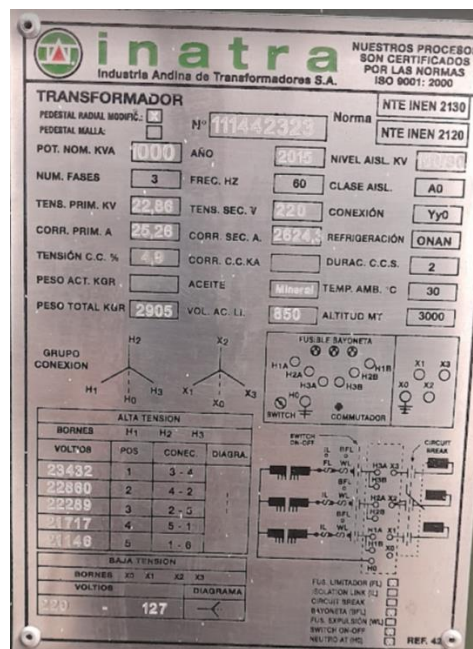


Figura 40. Datos de placa del transformador que se encuentra en el HGONA.

Con estos datos a nuestro alcance procederemos a calcular la corriente de cortocircuito que es de vital importancia para diseñar la malla de tierra.

4.1.2 Cálculo de la I_{cc} máxima de malla.

Este cálculo es la corriente máxima que podrá soportar los cables del SPT al ocurrir un evento de falla.

Se obtiene la corriente de cortocircuito con los datos que nos ofrece el transformador.

La ecuación para hallar esta corriente son las siguientes:

$$I_{cc} = \frac{Sn}{\sqrt{3} \cdot Vns \cdot Imp} \quad (9)$$

Donde:

Sn = Potencia nominal del transformador [kVA]

I_{cc} = Corriente de cortocircuito con datos del trafo [kVA]

Vns = Voltaje nominal que se obtiene en el secundario del transformador [kV]

Imp = impedancia del transformador [pu]

Entonces se reemplaza los valores ya conocidos por la placa del transformador en la ecuación (9) y obtenemos el resultado de la corriente de cortocircuito.

$$I_{cc} = 53.557 [kA]$$

4.1.3 Selección del conductor mínimo establecido.

Según se establece en norma la selección del conductor de cobre para un SPT debe ser mínimo un conductor # 4 AWG, pero antes de tomar alguna decisión se debe realizar los cálculos para poder determinar si nuestro diseño de malla requiere un calibre de conductor mayor pues para esto se utilizará la ecuación (2) descrita en el marco teórico y además utilizaremos el factor $K_f = 7$ descrita en el **Anexo A**.

$$A_{mm^2} = \frac{I_F * K_f * \sqrt{t_c}}{1.9740} [mm^2]$$

$$A_{mm^2} = 94.959 [mm^2]$$

Luego de obtener el área del calibre del conductor procedemos a comparar con la tabla de conductores de cobre desnudo que se encuentre en el **Anexo C**. Al comparar este valor obtenido con la tabla de conductores podemos deducir que vamos a utilizar un conductor de cobre desnudo # 4/0 AWG.

Este conductor seleccionado está dentro de la norma y además especifica que las mallas típicas están construidas con este tipo de calibre de conductor, por lo tanto, los cálculos para nuestra malla se lo realizasen con este calibre de conductor cobre desnudo clase B.

Hay que tomar en cuenta además que las mallas existentes donde se realizó las mediciones previamente al diseño contaban con cables de cobre desnudo # 3/0 AWG. Por lo que para nuestro diseño consideramos lo dicho anteriormente.

4.1.4 Diseño del SPT o malla según norma.

El diseño inicial del SPT que se consideró para el hospital HGONA es una malla rectangular (véase en el **Anexo M**). esta malla se encuentra ubicado en la parte exterior de la edificación en un área verde de ornamentación que tiene el hospital. El diseño de la malla propuesta tiene las siguientes dimensiones que a continuación se describe:

El diseño de la malla es de 10 m de largo por 6m de ancho como se la puede observar en la **Figura 41**, con divisiones de 2.5 m en (l_x) y con divisiones de 1.5 m en el lado de (l_y). El diseño de la malla posee 6 electrodos (4 electrodos en las esquinas y 2 en su perímetro), el electrodo tiene una longitud 2.4 m (L_r) tipo varilla.

Según se especifica en norma la profundidad de enterramiento de la malla debe estar a 0.8m y las distancias de los electrodos deben estar al doble de la distancia de la longitud de la varilla, es decir a 4.8 m separados entre cada varilla o electrodo de tierra.

Esta condición mencionada cumple con lo estipulado en norma de la Empresa Eléctrica Quito (EEQ).

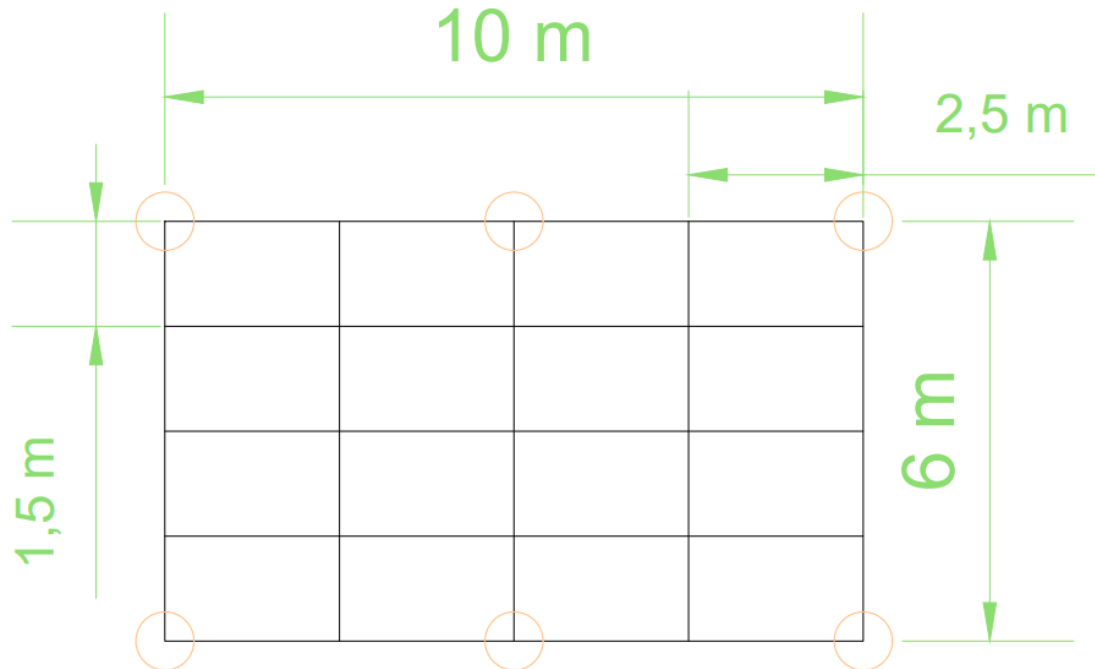


Figura 41. Diseño, geometría, y ubicación de los electrodos en la malla.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

4.1.5 Resistencia del sistema o también denominado (R_S)

Según lo investigado en norma la resistencia del sistema deberá ser menor o igual a los 5 Ω , es un valor que se debe cumplir para instalaciones hospitalarias. Para poder realizar el cálculo necesitaremos conocer de ciertas variables que a continuación de las describe:

R_m = Es la resistencia de la malla calculada [Ω]

R_v = Es la resistencia del electrodos o varilla implementada [Ω]

R_{mt} = Es la resistencia mutua calculada en [Ω]

R_S = Es la resistencia total del sistema calculado en [Ω]

ρ_T = Su resistividad suelo [$\Omega \cdot m$]

L_m = la cantidad de cable que entra en la malla [m]

h = Es a cuantos metros se enterrará la malla [m]

S_m = Superficie [m^2]

n_R = Es la cantidad de varillas utilizados

L_r = Longitud que tienen los electrodos o varillas utilizadas [m]

b = Radio de la sección de los electrodos [m]

ϕ_c = diámetro del cable que se emplea [m]

Para el cálculo de la malla propuesta se necesitará adicionalmente el cálculo de los coeficientes K_1 y K_2 , estos coeficientes se los describe en la norma de la IEEE 80-2000 en su sección 14.3, ya que estos coeficientes dependen a que profundidad está enterrada la malla de tierra de la superficie. Y el coeficiente (x) que aparece de la división de l_x sobre l_y , en otras palabras, se divide el largo por el ancho de la malla.

Es decir:

$$x = \frac{l_x}{l_y} \quad (10)$$

Por lo tanto, considerando de nuestra malla es rectangular es coeficiente quedaría de la siguiente manera:

$$x = \frac{10}{6} = 1.6$$

Para este efecto también debemos calcular la superficie de la malla S_m que de igual forma se la calcula multiplicando el largo por el ancho de $lx * ly$. Por lo tanto, tenemos:

$$S_m = lx \cdot ly \quad (11)$$

Por lo tanto, la superficie de la malla es de:

$$S_m = 10 \cdot 60 = 60 \text{ m}^2$$

Realizando las operaciones matemáticas de los coeficientes de K_1 y K_2 se debe analizar las curvas de la **Figura 42** y **Figura 43**, sus ecuaciones están definidas en las mismas, y por ende escogemos el valor que se acerque más a su valor de enterramiento al que definimos a nuestro SPT (h), se eligió un enterramiento de 0.8 m .

Cálculo del coeficiente K_1

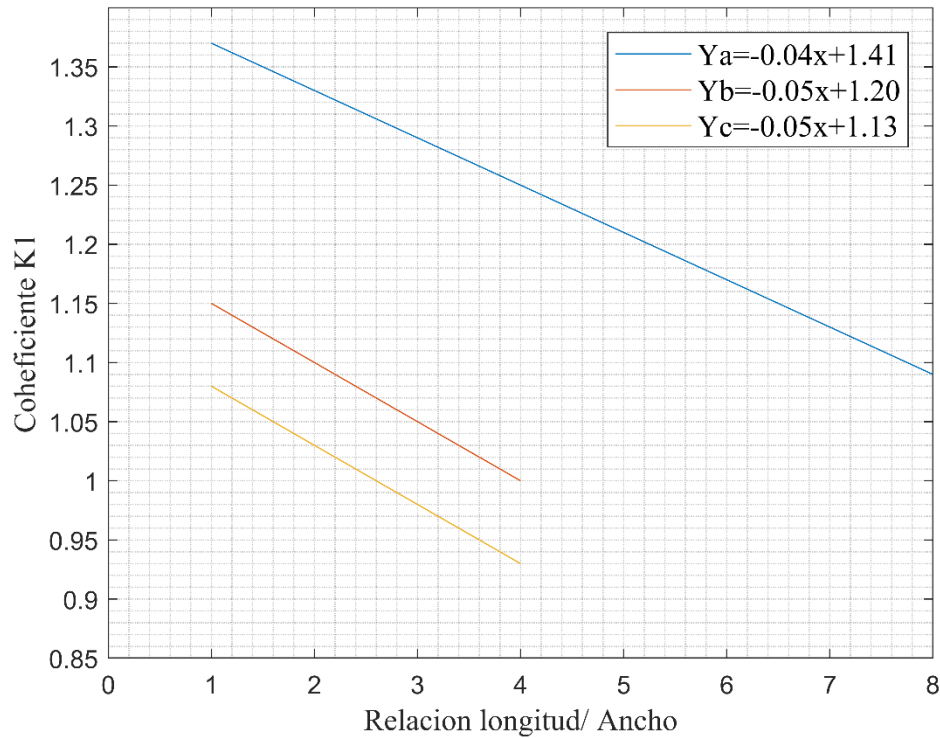


Figura 42. Curvas A, B, C, para el cálculo del coeficiente K_1 .
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Curva A: $h = 0$

$$\text{Curva B: } h = \frac{1}{10}\sqrt{S_m} = \frac{1}{10}\sqrt{60} = 0.77$$

$$\text{Curva C: } h = \frac{1}{6}\sqrt{S_m} = \frac{1}{6}\sqrt{60} = 1.29$$

Decimos entonces que el valor h de la Curva B es el que más se acerca a nuestro valor de 0.8 m , por lo tanto, utilizaremos la ecuación característica de la Curva B para determinar K_1 .

$$K_1 = -0.05x + 1.20 \quad (12)$$

Nos queda entonces:

$$K_1 = 1.12$$

Cálculo del coeficiente K_2

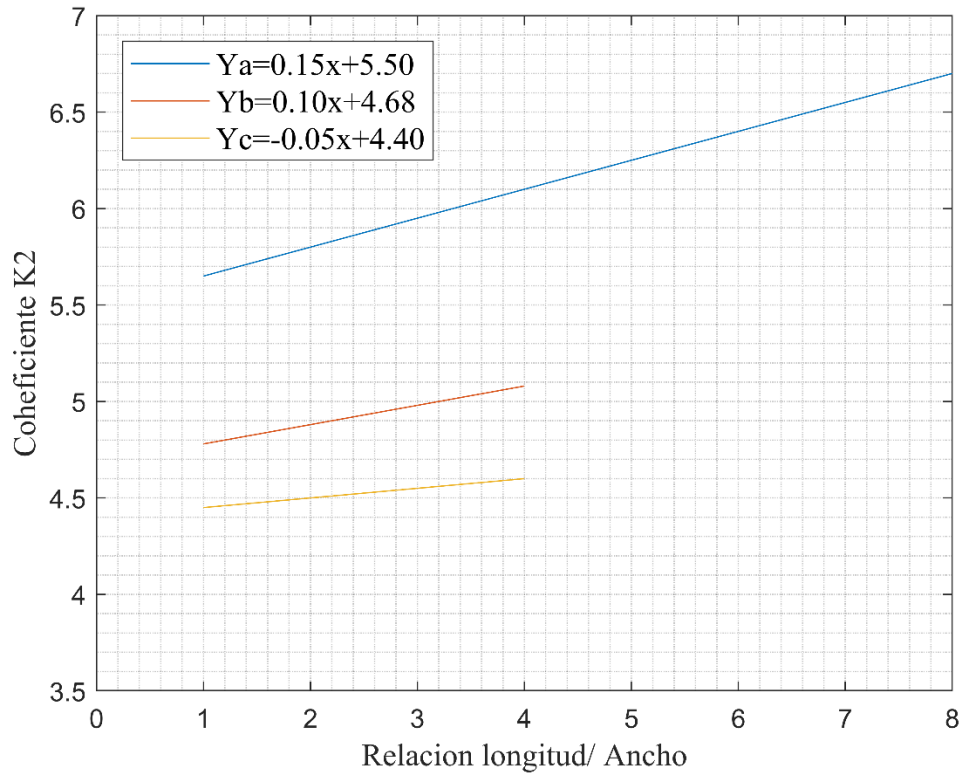


Figura 43. Curvas A, B, C, para el cálculo del coeficiente K_2 .

Curva A: $h = 0$

$$\text{Curva B: } h = \frac{1}{10}\sqrt{S_m} = \frac{1}{10}\sqrt{60} = 0.77$$

$$\text{Curva C: } h = \frac{1}{6}\sqrt{S_m} = \frac{1}{6}\sqrt{60} = 1.29$$

Decimos entonces que el valor h de la Curva B es el que más se acerca a nuestro valor de 0.8 m , por lo tanto, utilizaremos la ecuación característica de la Curva B para determinar K_2 .

$$K_2 = 0.10x + 4.68 \quad (13)$$

Entonces:

$$K_2 = 4.84$$

Conocidos estos valores procederemos a calcular la resistencia de la malla con la siguiente ecuación:

$$R_m = \frac{\rho_T}{\pi \cdot L_m} \left(\ln \left(\frac{2 * L_m}{\sqrt{\phi * h}} \right) + \frac{2 * K_1 * L_m}{\sqrt{S_m}} - K_2 \right) \quad (14)$$

Los valores de la anterior ecuación ya son conocidos con excepción de L_m por lo que se lo deberá encontrar con la siguiente ecuación:

$$L_m = (l_x \cdot N_{cu}) + (l_y \cdot N_{cp}) \quad (15)$$

Donde:

l_x = Largo de la malla.

N_{cu} = Numero de conductores de unión en el lado de l_x .

l_y = Medida del ancho de malla.

N_{cp} = Número de conductores de unión en el lado de l_y .

Obteniendo el resultado de la ecuación (15):

$$L_m = 80 [m]$$

Por lo tanto, podemos calcular la ecuación (14):

$$R_m = \frac{44.34}{\pi \cdot 80} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 80}{\sqrt{0.0134 \cdot 0.8}} \right) + \frac{2 \cdot 1.12 \cdot 80}{\sqrt{60}} - 4.84 \right)$$

$$R_m = 4.5224 [\Omega]$$

Como siguiente paso deberemos calcular la resistencia de la varilla o electrodo seleccionado para nuestra malla de tierra conocida como R_v , y su ecuación respectiva es:

$$R_v = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi \cdot n_R \cdot L_r} \left(\ln \left(\frac{4 \cdot L_r}{b} \right) - 1 + \frac{2 \cdot K_1 \cdot L_r}{\sqrt{S_m}} - (\sqrt{n_R} - 1)^2 \right) \quad (16)$$

Donde:

L_r = Es la longitud de la varilla que se especificó en su diseño preliminar que es de 2.4 m de longitud.

n_r = Es el numero de varillas o picas que el diseñador implemento en la malla.

b = Diámetro de la varilla de 5/8 de pulgada (16 mm), con un diámetro de 5/16 pulgadas por lo que b debe estar en metros (0.0079375 m).

Remplazando los valores ya conocidos en la ecuación (16) nos queda de la siguiente manera:

$$R_v = \frac{44.34}{2 \cdot \pi \cdot 6 \cdot 2.4} \left(\ln \left(\frac{4 \cdot 2.4}{0.0079375} \right) - 1 + \frac{2 \cdot 1.12 \cdot 2.4}{\sqrt{60}} - (\sqrt{6} - 1)^2 \right)$$

$$R_v = 3.7024 \text{ } [\Omega]$$

Ahora procedemos a calcular la resistencia mutua que es la resistencia de la malla y los electrodos, se la expresa en la siguiente ecuación y se la conoce como R_{mt} :

$$R_{mt} = \frac{\rho_T}{\pi \cdot L_m} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot L_m}{L_r} \right) + \frac{K_1 \cdot L_m}{\sqrt{S_m}} - K_2 + 1 \right) \quad (17)$$

Como estos valores de las variables ya conocidos simplemente debemos remplazar la ecuación (17) y obtener su resultado que es:

$$R_{mt} = \frac{44.34}{\pi \cdot 80} \left(\ln \left(\frac{2 \cdot 80}{2.4} \right) + \frac{1.12 \cdot 80}{\sqrt{60}} - 4.84 + 1 \right)$$

$$R_{mt} = 2.1039 \text{ } [\Omega]$$

Habiendo obtenido todos estos valores procedemos a calcular la resistencia del sistema con la siguiente ecuación que se la conoce como R_s :

$$R_s = \frac{R_m \cdot R_v - R_{mt}^2}{R_m + R_v - 2 \cdot R_{mt}} \quad (18)$$

Como se puede observar en la ecuación (18) son todos los valores calculados de las resistencias anteriores, por lo tanto, esos valores se la remplazan en la ecuación y nos da como resultado:

$$R_s = \frac{4.5224 \cdot 3.7024 - 2.1039^2}{4.5224 + 3.7024 - 2 \cdot 2.1039}$$

$$R_s = 3.0662 [\Omega]$$

Realizado estos cálculos debemos comparar la resistencia del sistema con la resistencia máxima admitida para este proyecto que se lo planteo de 5 Ω .

Entonces decimos que:

$$R_s \leq 5 \Omega$$

Decimos que nuestro diseño si cumple con lo establecido en norma ya que el R_s es menor que los cinco ohmios establecidos previamente, su diseño es viable.

4.1.6 Calculo de valores de Voltaje de Toque y Voltaje de Paso

Para validar nuestro diseño se deberá verificar los voltajes V_m y V_s , que estén dentro del rango permitido, estos valores deberán ser menores que los voltajes contacto y paso

Por lo que se lo debe de interpretar de la siguiente manera:

$$V_m \leq V_{Toque}$$

$$V_s \leq V_{paso}$$

Estos límites de voltaje que son tolerables por el cuerpo humano se los puede calcular con las ecuaciones (4), (5) y (6) además que están en función del tiempo de duración de un evento de falla t_f , para nuestro caso de estudio a estas variables se le asigno un tiempo de 0.25 segundos, esto fue descrito en secciones anteriores y una resistencia R_B de 1000 Ω en promedio del cuerpo humano.

Para este cálculo necesitaremos de las constantes k ya definidas y que la podemos encontrar en la **Tabla 3**, y estas constantes están determinadas sujetos que tienen un peso corporal de 50 Kg y 70 Kg respectivamente. Para nuestro caso de diseño escogeremos la constante $k = 0.116$ ya que si cumple con los parámetros para un sujeto que tiene 50 Kg cumplirá respectivamente para una de 70 Kg.

Acordándonos entonces de las ecuaciones ya planteadas anteriormente tenemos:

$$I_B = \frac{k}{\sqrt{t_f}}$$

$$V_{toque} = I_B(R_B + 1,5 * \rho)$$

$$V_{paso} = I_B(R_B + 6 * \rho)$$

Ya que estos valores son conocidos tenemos entonces los resultados de los límites de tensión o voltaje tolerable:

$$I_B = 0.232 [A]$$

$$V_{toque} = 247.4303 [V]$$

$$V_{paso} = 293.72 [V]$$

Para proceder con el cálculo de los voltajes V_m y V_s en la siguiente **Tabla 23** anotaremos algunas constantes que son propias del diseño de la malla y que de igual forma ya fueron encontradas con anterioridad (Véase el **Anexo K**).

Las ecuaciones para calcular el V_m y V_s se las presenta a continuación:

$$V_m = \frac{\rho_T \cdot k_m \cdot k_i \cdot I_F}{L_m'} \quad (19)$$

$$V_s = \frac{\rho_T \cdot k_s \cdot k_i \cdot I_F}{L_s} \quad (20)$$

Para poder continuar con los cálculos se debe conocer algunos factores que están descritas en las ecuaciones (21) hasta (31), a estos factores se los conocerá en la siguiente **Tabla 24**, que contiene el **Anexo L**.

A continuación, se presenta las ecuaciones que describen a los factores que determinan los voltajes de la malla diseñada.

$$k_m = \frac{1}{2 \cdot \pi} \left(\ln \left(\frac{D^2}{16 \cdot h \cdot \emptyset} \right) + \frac{(D + 2 \cdot h)^2}{8 \cdot D \cdot \emptyset} - \frac{h}{4 \cdot \emptyset} \right) + \frac{k_{ii}}{k_h} \cdot \ln \left(\frac{8}{\pi(2 \cdot n - 1)} \right) \quad (21)$$

$$k_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2 \cdot h} + \frac{1}{D + h} + \frac{1}{D} (1 - 0.5^{n-2}) \right) \quad (22)$$

$$k_{ii} = \begin{cases} 1 & \text{Cuando tiene varillas en las esquinas o perimetro} \\ \frac{1}{(2 \cdot n)^{\frac{2}{n}}} & \text{Cuando NO tiene varilla en las esquinas o perimetro} \end{cases} \quad (23)$$

$$k_h = \sqrt{1 + \frac{h}{h_0}} \quad (24)$$

$$L_s = 0.75 \cdot L_m + 0.85 \cdot n_R \cdot L_r \quad (25)$$

$$L_m = \begin{cases} L_m + \left(1.55 + 1.22 \left(\frac{L_r}{\sqrt{l_x^2 + l_y^2}} \right) \right) \cdot n_R \cdot L_r & \text{Cuando tiene varillas en las esquinas o perimetro} \\ L_m + n_R \cdot L_r & \text{Cuando NO tiene varillas en las esquinas o perimetro} \end{cases} \quad (26)$$

$$n = n_a \cdot n_b \cdot n_c \cdot n_d \quad (27)$$

$$n_a = \frac{2 \cdot L_m}{L_p} \quad (28)$$

$$n_b = \begin{cases} 1 & \text{Mallas cuadradas} \\ \sqrt{\frac{L_p}{4 \cdot \sqrt{S_m}}} & \text{(Otras configuraciones)} \end{cases} \quad (29)$$

$$n_c = 1 \text{ Mallas rectangulares} \quad (30)$$

$$n_d = 1 \text{ Mallas cuadradas, rectangulares} \quad (31)$$

Con respecto a las ecuaciones y descritas anteriormente se procede a remplazarlos utilizando los valores de la **Tabla 23** en la **Tabla 24**, posterior a esto se podrá obtener los resultados que se presentan en la **Tabla 10**.

Tabla 10. Valores de factores encontrados para determinar V_m y V_s

<i>Factores</i>	<i>Magnitud</i>
k_m	7.2234
k_s	0.4076
k_{ii}	1
k_i	1.3959
k_h	1.3416
L_s	72.24
L_m'	88.2037
n	5.081

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Respectivamente reemplazando los valores encontrados, en las ecuaciones (19) y (20), obtendremos los siguientes resultados para V_m y V_s

$$V_m = 245.46 [V]$$

$$V_s = 18.708 [V]$$

4.1.7 Análisis de resultados

El diseño y la dimensión de un SPT debe acogerse a los requisitos mínimos que están especificados en su estándar IEEE Std 80-2000, y con las otras normas tales como la NEC e IEC que establecen parámetros para garantizar que el diseño cumpla con los objetivos básicos de protección del equipo y lo más primordial salvaguardar la integridad física de las personas.

Por lo tanto, estos parámetros se los revisara a continuación:

- *Selección del calibre del conductor.*

Según la norma establece que el calibre mínimo a ser utilizado para un diseño de un SPT debe ser # 4 AWG en los efectos de cálculo nos dio un resultado de $94.959 [mm^2]$ lo que al observar la tabla de sección de los diferentes tipos de cables escogimos el cable # 4/0 ya que este está dentro del rango establecido en la norma, además de esto las mallas preexistentes del hospital HGONA cuenta con un calibre de conductor # 3/0. Por ende, la selección de nuestro conductor cumple con sus características para el diseño realizado.

- *Resistividad del terreno.*

Las respectivas mediciones que se tomaron en campo con el telurómetro FLUKE, fueron ingresadas al programa CYMGrd, por lo que arrojó resultados de la resistividad del terreno que está bajo estudio, por lo cual el programa mediante cálculos nos revelo un resultado de $44.34 \Omega \cdot m$, Es comprensible tener este resultado ya que como se mencionó anteriormente la ubicación del diseño de la malla se encuentra en un área verde de ornamentación, y basándonos en tablas con valores característicos de resistividad para cada tipo de estrato de terreno. El valor obtenido es bastante coherente.

- *Resistencia del sistema o de la malla diseñada.*

Con los valores recomendados en norma, que nos dice que para instalaciones hospitalarias los valores de la resistencia R_s deben estar en rangos menores o iguales a 5Ω por lo que el resultado que obtuvimos mediante cálculos que se encuentran en la sección 4.1.5 el valor de resistencia para el hospital que se obtuvo fue de 3.0662Ω

Podemos afirmar que cumple con el requisito establecido:

$$R_s \leq 5 \Omega$$

- *Límites de voltaje o tensión.*

Los límites de los voltajes V_m y V_s según se establece en la norma estos valores deben ser menores o iguales a los voltajes paso y voltaje contacto, no se deben sobrepasar según se aprecia a continuación:

$$V_m \leq V_{Toque}$$

$$V_s \leq V_{Paso}$$

Para nuestro caso en particular de estudio los valores obtenidos son los siguientes:

$$V_m = 245.46 [V] \leq V_{Toque} = 247.4303[V]$$

$$V_s = 18.708 [V] \leq V_{Paso} = 293.72 [V]$$

Por lo tanto, podemos afirmar con total seguridad que estos valores obtenidos cumplen con lo establecido en norma.

4.2 Simulación y comparación de los resultados con la utilización del software CYMGrd

Después de hacer los cálculos manualmente, comparemos los resultados obtenidos en el programa CYMGrd. Programa especializado para este tipo de diseño de malla de sobretensiones. Este programa es bastante amigable con el usuario para una rápida comprensión.

Como primer paso para la simulación de nuestra malla hay que diseñarla en el programa ubicándola con sus coordenadas respectivamente, tanto para los conductores como para los electrodos o picas como se aprecia en la **Tabla 11** y **Figura 44**.

Tabla 11. Coordenadas introducidas para el diseño de la malla.

<i>X1</i> (m)	<i>Y1</i> (m)	<i>Z1</i> (m)	<i>X2</i> (m)	<i>Y2</i> (m)	<i>Z2</i> (m)	# <i>elementos</i> <i>conductor</i> <i>es</i>	<i>material</i>	<i>Tamaño</i>	<i>Diametro</i> (mm)
0	0	0.8	10	0	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
0	1.5	0.8	10	1.5	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
0	3	0.8	10	3	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
0	4.5	0.8	10	4.5	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
0	6	0.8	10	6	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
0	6	0.8	0	0	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
10	0	0.8	10	6	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
7.5	0	0.8	7.5	6	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
5	0	0.8	5	6	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462
2.5	0	0.8	2.5	6	0.8	1	Copper	4/0AWG	13.462

Elaborado por: Pablo Gualotuña

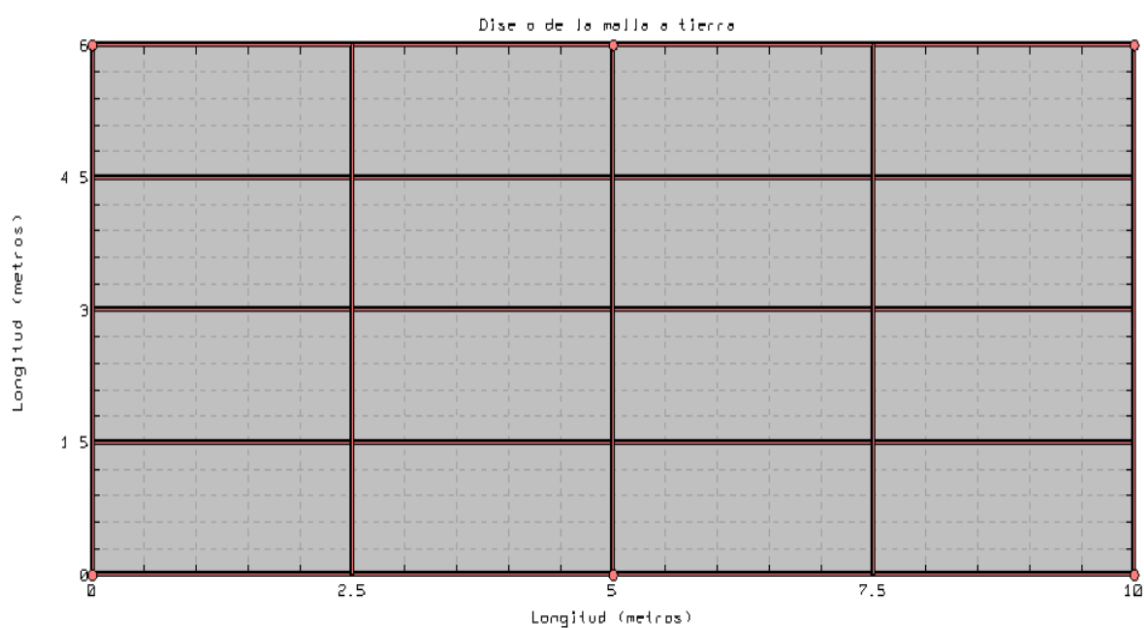


Figura 44. Diseño de la malla en el programa CYMGrd.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Este programa además trabaja con la norma IEEE 80- 2000, pero también el usuario puede definir otras características en el programa, para nuestro caso lo dejamos en esa opción por defecto.

Luego del diseño preliminar con las coordenadas ubicadas se podrá visualizar la geometría de la malla en 3D, que es una característica propia del programa y que nos proporciona una manera visual de cómo se está construyendo o armando la malla según se va introduciendo las dimensiones mismas propuestas por el diseñador.

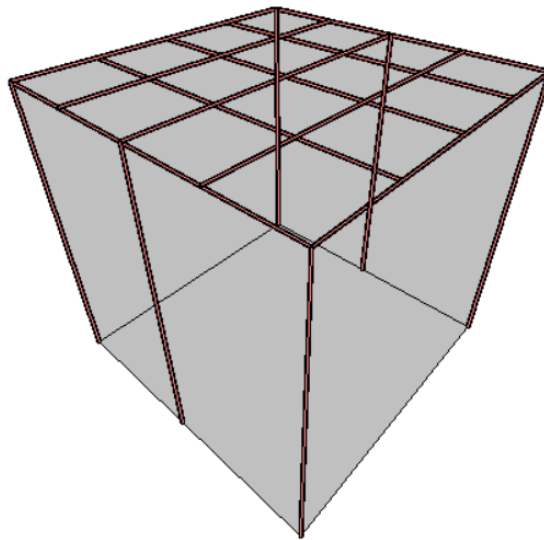


Figura 45. Diseño de la malla y bajo análisis de la misma.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Para este efecto de diseño previamente se deben introducir los valores de resistividad del terreno que fueron tomados en campo, algo muy importante que es la corriente de cortocircuito o corriente de falla I_{CC} , calculada en la ecuación (9) y el tiempo de falla t_c que para nuestro caso lo asumimos de 0.25 segundos. Se los deberá ingresar en la opción del programa a continuación: Malla – parámetros de la malla, estos parámetros serán importantes para poder correr la simulación.

Luego de correr la simulación nos arrojan lo valores de salida de nuestro diseño.

Niveles de umbral del potencial de contacto	
Elevación del potencial de tierra	
Tensión máxima de paso	293.75 voltios
Tensión máxima de contacto	247.44 voltios
Máximo	
Potenciales de superficie	
Potenciales de paso	18.73 voltios
Potenciales de contacto	245.46 voltios

Figura 46. Resultados obtenidos del programa.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

Estos valores los compararemos con los calculados a mano en la siguiente **Tabla 12**.

Tabla 12. Comparación de los resultados obtenidos.

	V_m [V]	V_s [V]	V_{Toque} [V]	V_{Paso} [V]
<i>Diseñador</i>	245.46	18.708	247.4303	293.72
<i>Programa CYMGrd</i>	245.46	18.73	247.44	293.75

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Con los resultados encontrados de los voltajes calculados, la siguiente **Figura 47** y **Figura 48** nos muestra los niveles de umbral del potencial de contacto, los cuales están dentro de los permitidos al haber hecho la comparación con el programa y los cálculos del diseñador. Y se lo visualiza en la **Tabla 12**.

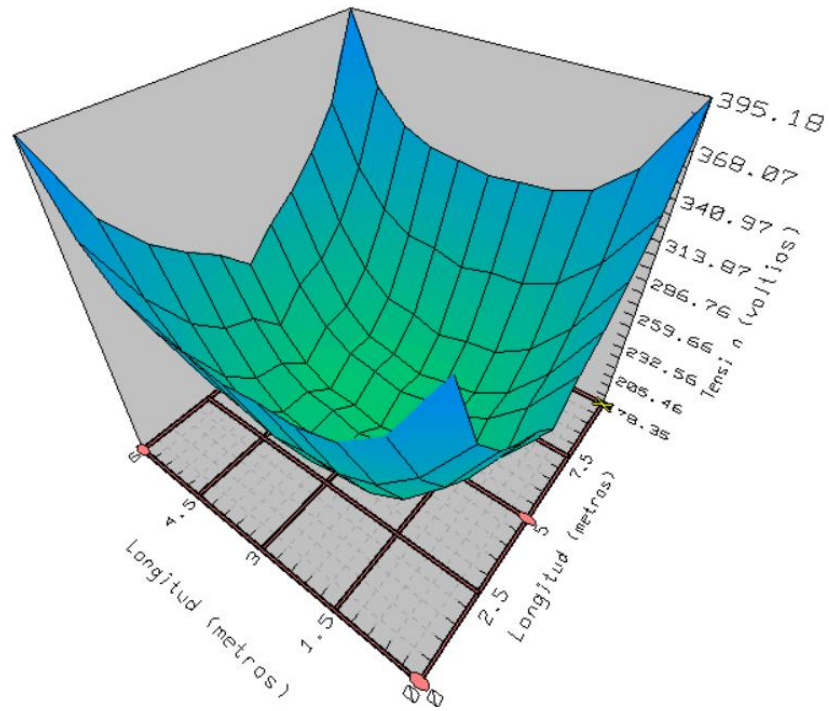


Figura 47. Niveles de umbral del potencial permitido para V_{Toque} y V_{paso} .
Elaborado por: Pablo Gualotuña

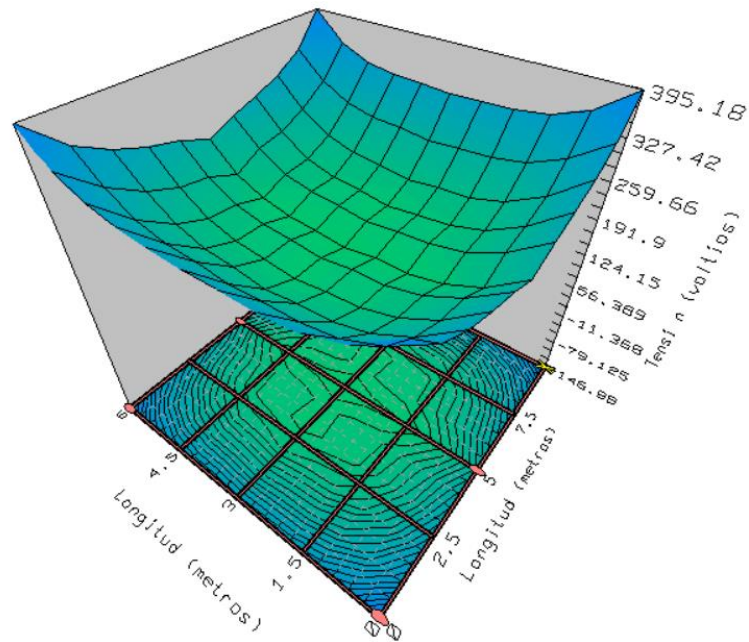


Figura 48. Niveles de umbral del potencial permitido para V_{Toque} y V_{paso} .
Elaborado por: Pablo Gualotuña

De la misma manera con los resultados encontrados de los voltajes calculados, la siguiente **Figura 49** y **Figura 50** nos muestra los niveles de umbral del potencial de superficie, los cuales están dentro de los permitidos al haber hecho la comparación con el programa y los cálculos del diseñador. Y se lo visualiza en la **Tabla 12**.

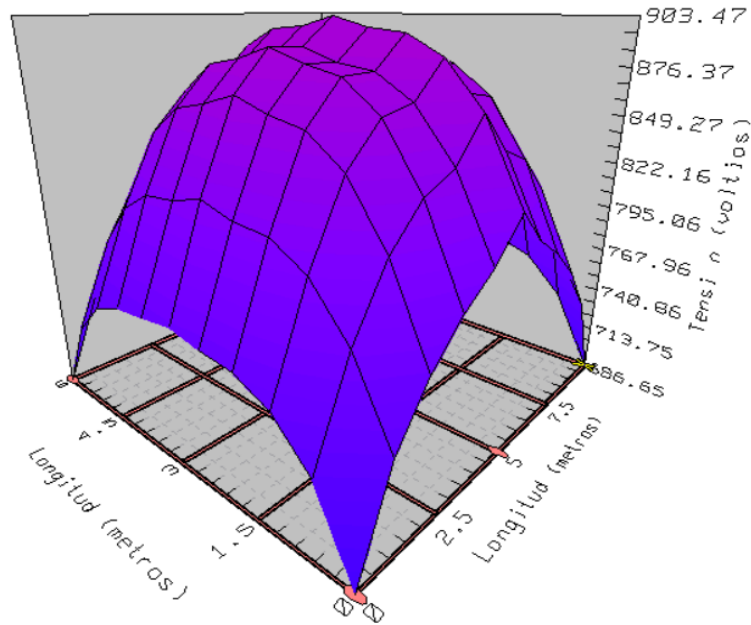


Figura 49. Niveles de umbral del potencial de superficie.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

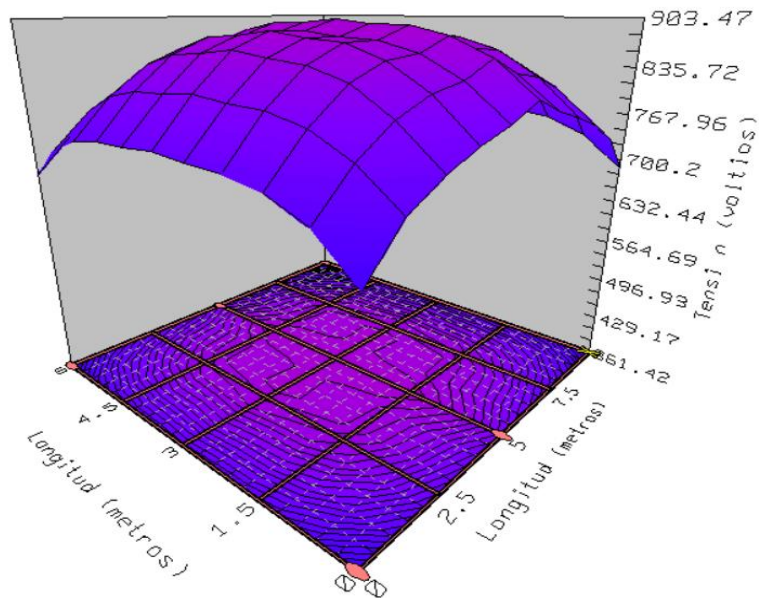


Figura 50. Niveles de umbral del potencial de superficie.
Elaborado por: Pablo Gualotuña

CAPÍTULO V

ANÁLISIS ECONÓMICO

En este último aspecto de trabajo se procede a realizar un análisis de costo de implementación para el desarrollo del diseño propuesto de la malla a tierra, habiendo realizado las respectivas consideraciones de donde se ubica la malla según los planos proporcionados por el mismo hospital HGONA, y habiendo hecho las inspecciones generales de campo.

Por ende, se detallarán los aspectos y características de la malla.

El diseño geométrico de la malla realizado es rectangular con diez metros en lx (largo) y seis de ancho en ly (ancho), consta de 4 divisiones a lo largo cada división tiene una longitud de 2.4 metros, de igual forma a lo ancho consta de 4 divisiones con una separación de 1.5 metros. Para el diseño de esta malla también se contemplaron 6 electrodos o varillas de 2.4 metros de longitud de alta camada, las cuales 4 están implementadas en las esquinas de la malla y dos de estas en el perímetro de la misma.

Dentro de este análisis económico también se deberá tener presente las mallas existentes del hospital, las cuales 4 de ellas se encuentran en el subsuelo más específicamente en los parqueaderos en la parte Oeste, estas cuatro mallas están conectadas entre sí, y mediante tubería de acero galvanizada que va vía aérea se conecta a la barra de cobre equipotencial en el cuarto de máquinas, y la última malla que es la quinta se encuentra en la parte exterior, detrás del cuarto de máquinas en un área verde de ornamentación muy reducida que de igual forma se conecta a la barra equipotencial. Todos estos aspectos de ubicación se lo pueden apreciar en el **Anexo N**.

También existen dos mallas adicionales que son de los pararrayos la primera malla está ubicada al frente del bloque administrativo en sentido oeste, y la segunda se encuentra detrás de la planta de tratamiento agua del hospital la cual es el SPT de los pararrayos del Bloque C y D véase el **Anexo N**. Mencionado todos estos parámetros se deberá tomar acciones correctivas para que estas mallas cumplan con los estándares de resistencia mencionados en norma y previamente mencionado en los capítulos anteriores.

El análisis económico tanto para la malla que fue diseñada y para la mejora de los SPT existentes en el hospital HGONA se detallaran en los **Anexo W, Anexo X, Anexo Y.**

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Tras realizar el presente estudio y analizar los resultados obtenidos se demuestra que se ha logrado con el objetivo principal del trabajo de titulación el cual corresponde a conocer en qué estado se encuentran los SPT existentes del HGONA e implementar un nuevo diseño de SPT que salvaguarde la integridad humana y proteger equipos sensibles que abundan en las instalaciones del hospital.

El HGONA está enfocado en el área de la salud, principalmente al cuidado y control para mujeres en estado de gestación desde su inicio hasta la llegada de una nueva vida. Los SPT son muy importantes que conforman la infraestructura ya que, si bien no se los observa, pero están ahí. Por lo que cumplen un rol importante para el cuidado integral de las personas que circulan dentro de la misma.

Según los datos generados con el telurómetro se obtuvo valores de resistencia aparente del terreno, con estos valores se pudo determinar la resistividad que es de $44.34 [\Omega \cdot m]$, las cuales concuerdan con el tipo de terreno que cuenta el área donde se implementara el diseño de la malla, y que corresponde a un terreno limoso según sus características el cual esta desde los 20 a 100 $[\Omega \cdot m]$, según los datos de la tabla del **Anexo B**.

En lo referente al diseño de la malla según se establece en la IEEE 80 el calibre mínimo del conductor a utilizarse en un SPT es # 4 AWG, en la norma también se menciona que las mallas a tierra típica están construidas con calibre del conducto # 4/0 que están dentro de lo recomendado, por lo que, para efecto de nuestro diseño de implementación de una nueva malla a tierra propuesta, la selección del calibre del conductor # 4/0 que optamos en el diseño se lo escogimos de una manera correcta.

Con respecto a los voltajes admisibles de paso y toque, mediante el análisis se pudo determinar que estas tensiones cumplen con los rangos admisibles y se rigen con la normativa de la IEEE 80-2000, que es de vital importancia para que el SPT se implemente.

El diseño del nuevo SPT presenta una propuesta viable de implementación, ya que al realizar los cálculos nos dio como resultado una resistencia del sistema de 3.0662Ω que es menos de 5Ω y las normas citadas en capítulos anteriores como son la IEEE, IEC y la NEC recomiendan que para las instalaciones hospitalarias la resistencia de la malla debe ser menores o igual a 5Ω .

6.2 Recomendaciones.

Con respecto a las mediciones de la resistencia de las mallas existentes del hospital tanto para las mallas que están en el subsuelo y también de los pararrayos es recomendable en cuestión de calidad de los SPT, dar un tratamiento con compuestos químicos ya sean estos geles aditivos u otros existentes en el mercado, mejorando así su calidad, para que queden dentro de los rangos permisibles establecidos en norma.

Al momento de la realización del estudio del presente proyecto se constató que las mallas de los pararrayos (véase el **Anexo N**), no estaban conectadas entre sí, dicho de otra manera no estaban equipotencializadas estas dos mallas estaban individualmente, se recomienda entonces estas deben estar conectadas a la malla general o a la barra de cobre equipotencial que se ubica en el cuarto de máquinas donde las demás tierras se conectan, como lo recomienda la norma NFPA, IEC y la NEC que todas las mallas deben estar interconectadas y equipotencializadas.

Con la obtención de todos estos datos queda claro que es necesario la implementación de un nuevo SPT para equipos sensibles ya que es donde más se evidencia la pérdida de los aparatos electrónicos tales como equipos médicos y UPS's, deteriorando el funcionamiento de su vida útil o dañándolos por completo.

REFERENCIAS

- [1] “Puesta a tierra instalaciones electricas hospitalarias.,” *Minist. Salud, Dir. Gen. para el Desarro. Serv. Salud - Programa Recur. Físicos*, pp. 33–38, 2012.
- [2] D. Armando, P. Díaz, and A. Bueno, “Diseño del sistema de puesta a tierra del centro médico docente La Trinidad,” 2007.
- [3] M. B. Mogollón Escobar, “Diseño Del Sistema De Puesta a Tierra Y Pararrayos Para El Edificio ‘Bloque De Aulas a Y B’ De La Escuela Politécnica Del Ejército,” pp. 1–229, 2006.
- [4] D. I. López, “Recomendaciones para sistemas de puesta a tierra en hospitales,” p. 98, 2013.
- [5] B. Cristian and M. Leonardo, “Tutorial de sistemas de puesta a tierra con aplicacion en subestacion electrica del hospital universitario del caribe,” *Univ. Tecnológica Bolívar, Fac. Ing. Electr. y Electron. sede Cart. Indias*, vol. 1999, pp. 1–6, 2006.
- [6] H. Escobar, “Mallas Puesta a Tierra en terrenos de alta resistividad,” *Fasor Ing. Chile*, pp. 1–9, 2000.
- [7] C. Manani, “Sistema de puesta a tierra y protección equipotencial para sistemas de cómputo,” *Univ. Nac. del Cent. del Perú*, pp. 1–144, 2013, [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2970>.
- [8] R. Garcia Marquez, “La puesta a tierra de instalaciones electricas.” pp. 1–127, 1999.
- [9] J. A. Bustamante Cuenca, “Evaluación y diagnóstico de la malla de puesta a tierra de la subestación obrapía con niveles de tensión de 69kV y 13.8kV perteneciente a la E.E.R.S.S.A. para cumplir con los parámetros establecidos por la norma IEEE Std.80-2000,” *Univ. Politec. Sales. Sede Cuenca*, vol. 0, no. 0, pp. 1–156, 2011.
- [10] PROCOBRE, “Sistemas de puesta a tierra.” pp. 5–99, 2010.
- [11] O. E. Barria, “Importancia de la puesta a tierra en el Sistema Eléctrico,” 2008.
- [12] M. B. Bastian, W. D. Carman, and D. J. Woodhouse, “Real-time monitoring of substation ground potential rise and grounding system impedance using power

- system faults,” *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 51, no. 6, pp. 5298–5304, 2015, doi: 10.1109/TIA.2015.2425361.
- [13] J. Arroyo, Dniely; Colmenrez, Klivet; Russo, “Medicion de puesta a tierra en porticos,” Universidad Fermin Toro, Caracas, Venezuela, 2015.
- [14] C. Cango, Carlos. Pichogagón, “Elaboracion de un manual para el diseño y mantenimiento de mallas de puesta a tierra,” *Esc. Politec. Nac.*, pp. 1–95, 2009.
- [15] Procobre, “Mallas de tierra,” *Procobre la Conex. vital.*, pp. 1–28, 2018.
- [16] S. Hurtado Villa and L. Inga, “Diseño de Malla Puesta a Tierra (Zona de Cancha Colegio Santo Domingo Comín),” *Formas Constr.*, 2017.
- [17] IEEE, *IEEE Guide for Safety in AC substation Grounding*, vol. 2000, no. February. 2000.
- [18] I. standards Association, *IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding 80 - 2013*. 2015.
- [19] A. E. N. Costes, “Manual de uso de la soldadura exotermica APLIWELD,” *Aplicaciones tecnologicas*, 2018. .
- [20] E. Harper, “Elementos de diseño de subestaciones eléctricas,” *Inst. Politécnico Nac. Mex.*, pp. 6–594, 1983.
- [21] M. E. Huete S., “Sistema de puesta a tierra y protección para sistemas de telecomunicaciones,” *Univ. Nac. del Cent. del Perú*, p. 115, 2008, [Online]. Available: <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/2970>.
- [22] EPM, “Medida de resistividad electrica del terreno.,” *RA6-014*, 2008. https://www.epm.com.co/site/Portals/0/centro_de_documentos/proveedores_y_contratistas/normas_y_especificaciones/normas_aereas/grupo_6_Normas_de_montajes_complementarios/RA6-014MEDIDADERESISTIVIDAD_V3.pdf.
- [23] M. W. Duche Emerson, “Diseño del sistema de puesta a tierra de la estacion repetidora el Alisal para sistemas de telecomunicaciones de Movistar.,” *Unjiversidad Politécnica Sales. sede, Guayaquil*, pp. 1–123, 2013.
- [24] F. C. Ospina, *Tierras Soporte de la Seguridad Eléctrica*. 2010.
- [25] P. A. M. R. Pablo Gabriel Campoverde Rosero, *Diseño de los sitemas de puesta a tierra para proteccion de equipos eléctricos instalados y de proteccion contra*

descargas atmosfericas para las instalaciones de la empresa Royal Master Group. 2021.

- [26] Á. Pacheco and J. Jiménez, “Diseño De Sistemas De Puesta a Tierra Partiendo De Un Modelo Bistratificado De Terreno, Aplicando Un Software Computacional En El Sector Industrial,” *Univ. Politec. Sales. Sede Cuenca*, pp. 1–135, 2013, [Online]. Available: <http://159.90.80.55/tesis/000133709.pdf>.
- [27] W. E. Pérez, C. J. Serrano, and O. O. Guevara, “Manual de aplicación de la norma IEEE Std 81 para líneas y subestaciones eléctricas de transmisión .,” *Univ. el Salvador. Esc. Ing. Electr.*, p. 183, 2015, [Online]. Available: [http://ri.ues.edu.sv/9008/1/Manual de aplicación de la norma IEEE Std 81.pdf](http://ri.ues.edu.sv/9008/1/Manual%20de%20aplicaci3n%20de%20la%20norma%20IEEE%20Std%2081.pdf).
- [28] J. Ramírez and E. Cano, “Sistemas de puesta a tierra : diseñado con IEEE-80 y evaluado con MEF,” *Univ. Nac. Colomb. sede Manizales*, pp. 1–122, 2010, [Online]. Available: [https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8215/eduardoantoniocono plata.2010.pdf?sequence=1](https://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/8215/eduardoantoniocono%20plata.2010.pdf?sequence=1).
- [29] Ing. Rojas Gregor, “Manual de puesta a tierra,” 2013. [Online]. Available: <https://www.slideshare.net/masgsg2013/manual-depuestaatierra>.
- [30] G. Rojas, “Manual de Sistemas de puesta a tierra.,” *Ipt*, pp. 1–147, 2014, [Online]. Available: [http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00 MANUAL GEDIWELD 2007 COMPLETO B.pdf](http://www.gedisa.com.ve/recientes_aun/catalogos/electricos/libreria_gediweld/libreria/00%20MANUAL%20GEDIWELD%202007%20COMPLETO%20B.pdf).
- [31] L. R. Román Loaiza, “Proyecto y diseño de instalaciones en media y baja tensión para un edificio.,” 2016, [Online]. Available: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/5410>.
- [32] González César, “Guía técnica para el diseño de instalaciones eléctricas en instituciones de asistencia médica en Colombia.,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 21, no. 2, pp. 1689–1699, 2017, [Online]. Available: [https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance Notebook 2.6 Smoke.pdf](https://www.oecd.org/dac/accountable-effective-institutions/Governance%20Notebook%202.6%20Smoke.pdf).
- [33] V. Samaniego, “Construcción de un prototipo didactico para medir la resistividad del suelo,” 2008.

- [34] C. C. K. Elizabeth and G. G. L. Miguel, “Universidad técnica de cotopaxi,” *Univ. técnica cotopaxi*, vol. 1, p. 101, 2020, [Online]. Available: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/4501/1/PI-000727.pdf>.
- [35] F. del Toro and O. Pimentel, “Requisitos para el sistema de puesta a tierra en instalaciones electricas hospitalarias de acuerdo con el reglamento técnico de instalaciones electricas (RETIE).,” *Univ. Tecnológica Bolívar, Fac. Ing. Electr. y Electron. sede Cart. Indias*, p. 634, 2007, [Online]. Available: <https://biblioteca.utb.edu.co/notas/tesis/0042939.pdf>.
- [36] Aenor, “Proteccion de estructuras, edificaciones y zonas abiertas mediante pararrayos con dispositivo de cebado.,” *Norma española UNE 21186*, pp. 1–60, 1996.

ANEXOS

Anexo A. Tabla de constantes de los materiales.

Tabla 13. Constante de los materiales [17].

<i>Material</i>	<i>Conductividad</i> (%)	<i>T_m</i> (°C)	<i>K_f</i>
Cobre blando	100	1083	7
Cobre duro con suelta exotérmica	97	1084	7.06
Cobre duro con conexiones mecánicas a presión	97	250	11.78
Alambre de acero recubierto de cobre	40	1084	10.45
Alambre de acero recubierto de cobre	30	1084	14.64
Varilla de acero recubierta de cobre	20	1084	14.64
Acero 1020	10.8	1510	15.95
Varilla de acero galvanizado	9.8	1400	14.72
Varilla de acero con baño de zinc	8.6	419	28.96
Acero inoxidable 304	2.4	1400	30.05

Anexo B. Valores de resistividad en función del terreno.

Tabla 14. Valores de resistividad en función del terreno [8].

Naturaleza del terreno	Resistividad ($\Omega \cdot m$)
Terrenos pantanosos	< 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Terreno pedregoso relleno de césped	300 a 500
Terreno pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Roca de mica y cuarzo	800
Granito y gres procedente de alteración	1500 a 10000
Granito y gres muy alterado	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Balastro y grava	3000 a 5000

Anexo C. Tabla de selección de conductores de cable desnudo.

Tabla 15. Cables de cobre desnudo Clase B.

<i>Calibr e AWG</i>	<i>Secció n nomin al mm²</i>	<i># de hebra s</i>	<i>Diámetr o nominal de la hebra mm</i>	<i>Diámetro total aproximad o mm</i>	<i>Peso total aprox . kg km</i>	<i>Resistenci a eléctrica máx. a 20 °C Ω km</i>	<i>Cap. De corriente con Temp. Del conducto r a 80 °C A</i>
6	13.3	7	1.55	4.7	120	1.35	124
4	21.2	7	1.96	5.9	192	0.847	155
2	33.6	7	2.47	7.4	304	0.532	209
1	42.4	19	1.69	8.5	386	0.425	242
1/0	53.5	19	1.89	9.5	483	0.335	282
2/0	67.4	19	2.13	10.7	614	0.266	329
3/0	85.0	19	2.39	11.9	773	0.211	382
4/0	107	19	2.68	13.4	972	0.167	444

Anexo D. Tabla de sección de conductor de protección.

Tabla 16. Secciones nominales para conductores de protección [30].

Sección nominal de los conductores activos en $[mm^2]$	Sección nominal de los conductores de protección en $[mm^2]$	Calibre nominal de los conductores de protección AWG
1.5	1.5	16
2.54	1.5	16
4	2.5	14
6	4	12
10	6	10
16	6	10
25	10	8
35	10	8
50	16	6
70	16	6
95 hasta 185	25	4
240 hasta 300	35	2
400 o mas	50	1

Anexo E. Tabla de sección de conductor de servicio.

Tabla 17. Sección nominal para conductores de puesta a tierra de servicio [30].

Sección nominal del conductor de acometida en $[mm^2]$	Sección nominal del conductor de servicio en $[mm^2]$	Calibre nominal de los conductores de protección AWG
Hasta 6	4	12
Entre 10 y 25	10	8
Entre 35 y 70	16	6
Entre 95 y 120	35	2
Entre 150 y 240	50	1
Entre 300 y 400	70	2/0

Anexo F. Efecto de la corriente en el cuerpo del ser humano

Tabla 18. Efectos de la corriente en el cuerpo humano [3].

Intensidad de la corriente en (mA)				Efectos que se producen en el organismo.
Corriente continua o directa (CC)		Corriente alterna 60 Hz (CA)		
Hombre	Mujer	Hombre	Mujer	
1.1	0.7	0.3	0.3	No hay sensación
5.2	3.5	0.7	0.7	Umbral de percepción
76	51	10.5	10.5	Umbral de intensidad limite
90	60	15	15	Choque doloroso y grave (Contracción muscular y dificultad respiratoria)
200	170	35	35	Principio de fibrilación muscular
500	500	100	100	Fibrilación ventricular posible en choques cortos (duración 3 segundos)
1300	1300	1000	1000	Fibrilación ventricular posible en coques cortos (hasta 0.03 segundos)

Anexo G. Resistividad y temperatura del suelo

Tabla 19. Resistividad del suelo y el efecto de la temperatura[30].

<i>Temperatura en °C</i>	<i>Resistividad de terreno (Ω*m)</i>
20	72
10	99
0 agua	138
0 hielo	300
-5	790
-10	3300

Anexo H. Salinidad en la resistividad del terreno.

Tabla 20. Efectos de la salinidad en la resistividad del terreno [30].

<i>% Sal por peso de humedad</i>	<i>Resistividad ($\Omega \cdot m$)</i>
0	107
0.1	18
1	4.6
5	1.9
10	1.3
20	1

Anexo I. Gel aditivo según la dosis requerida.

Tabla 21. Aplicación del gel aditivo según la dosis requerida con respecto a la resistividad del terreno [14].

<i>Resistividad del terreno ($\Omega \cdot m$)</i>	<i>Aplicación de la dosis</i>
50 - 200	1 dosis x 3 m ³
200 - 400	2 dosis x 3 m ³
> 400	3 dosis x 3 m ³

Anexo J. Resistencia con la aplicación del gel aditivo

Tabla 22. Reducción de la resistencia con la aplicación del gel aditivo [14].

<i>Resistencia</i> (Ω)	<i>%</i> <i>Reducción</i>	<i>Resultado de resistencia</i> <i>final</i> (Ω)
600	95	30
300	85	45
100	70	30
50	60	20
20	50	10
10	40	6

Anexo K. Constante propios que son de la malla diseñada

Tabla 23. Valores de constante propios que son de la malla diseñada

<i>Constantes</i>	<i>Denominación</i>	<i>Valores de las constantes</i>
S_m	La superficie de la malla	60 m^2
L_m	Longitud de la malla	80 m
l_x	es el largo de la malla	10 m
l_y	Es el ancho de la malla	6 m
h	Profundidad de la malla	0.8 m
n_R	Numero de varillas de la malla o picas	6
L_r	Dimensión del electrodo	2.4 m
D	Se toma la distancia mayor entre los conductores paralelos	2.5
L_p	Longitud del perímetro de la malla	32 m
h_0	Profundidad de referencia de la malla	1 m

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Anexo L. Constantes de cálculo y su denominación matemática

Tabla 24. Factores o constantes de cálculo y su denominación matemática

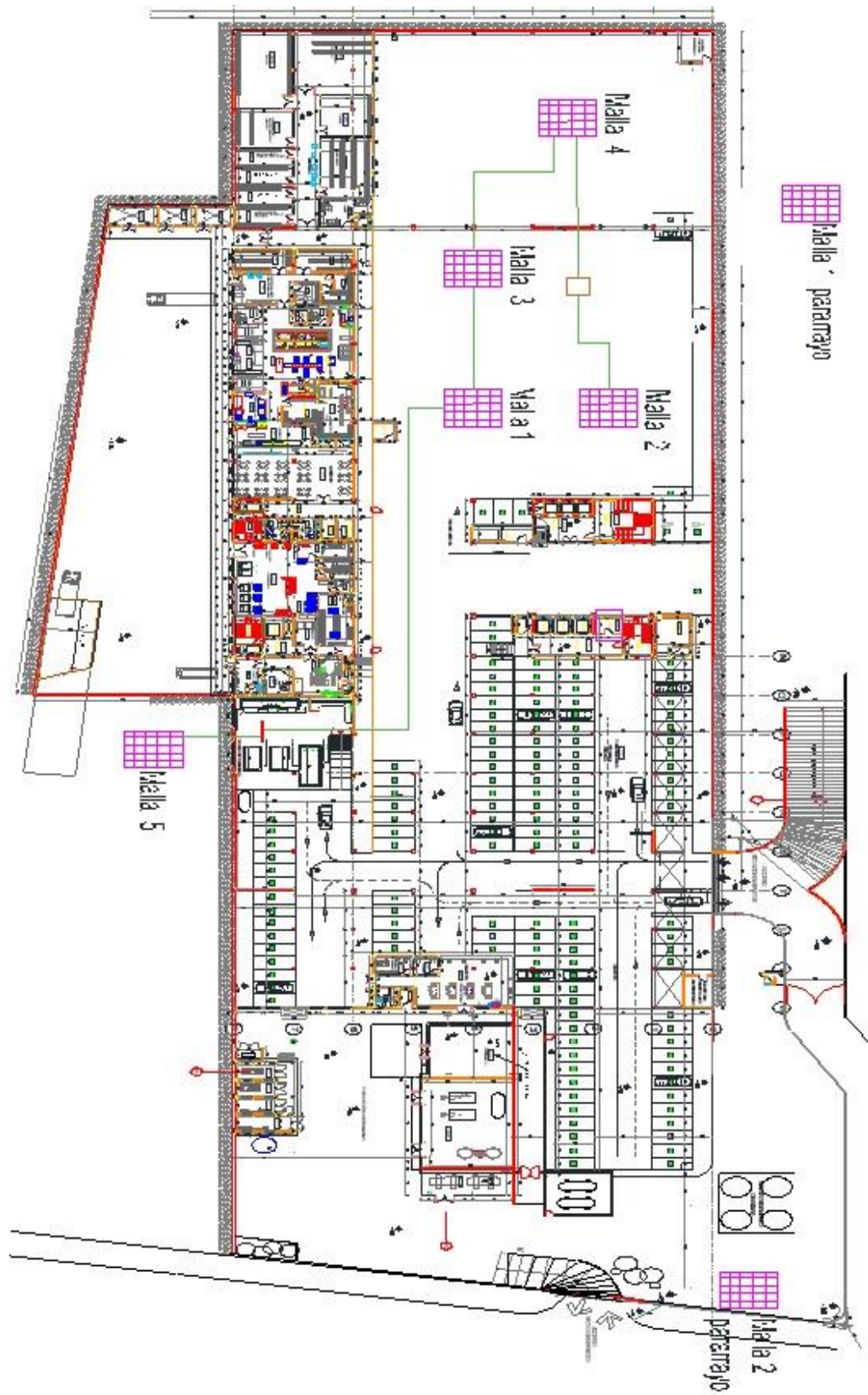
<i>Factores</i>	<i>Denominación</i>
k_m	Es el factor de espaciamiento para el voltaje de toque o contacto
k_s	Es el factor de espaciamiento para el voltaje de paso
k_{ii}	Factor de ponderación de correctivo
k_i	Factor correctivo de la geometría de la malla
k_h	Factor de ponderación correctivo
L_s	Es la longitud efectiva del conductor para el voltaje de toque
L_m'	Longitud efectiva de los conductores para el voltaje de paso
n	Número de conductores en paralelo efectivo en una malla

Elaborado por: Pablo Gualotuña

Anexo M. Plano del subsuelo del hospital y ubicación de la malla diseñada.



Anexo N. Ubicación de las mallas existentes en el plano del hospital HGONA



Anexo O. Manual de usuario telurómetro

FLUKE

1623-2 Earth/Ground Tester

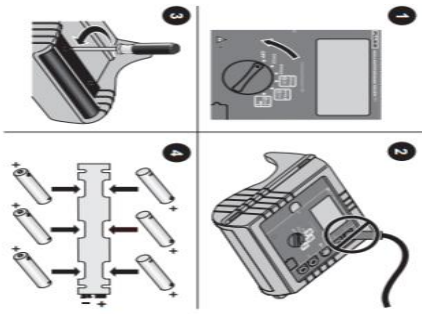
Quick Reference Guide

⚠ Warning

To prevent possible electrical shock, fire, or personal injury, read the "1623-2/1625-2 Safety Information" before you use this Product.

Go to www.fluke.com to register your product, download manuals, and find more information.

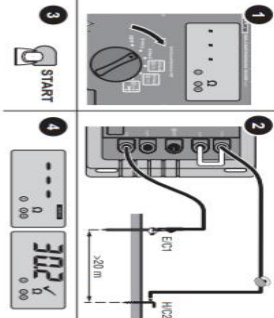
Batteries



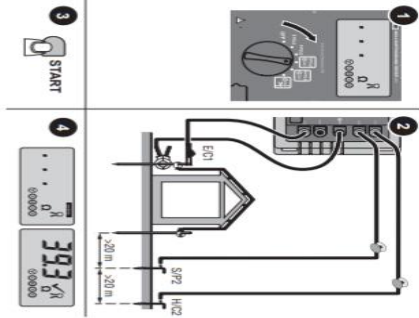
PN432438 January 2014
© 2014 Fluke Corporation. All rights reserved. All product names are trademarks of their respective companies.

Measurement

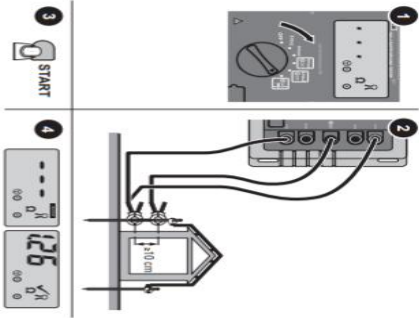
R₂-Pole Measurement



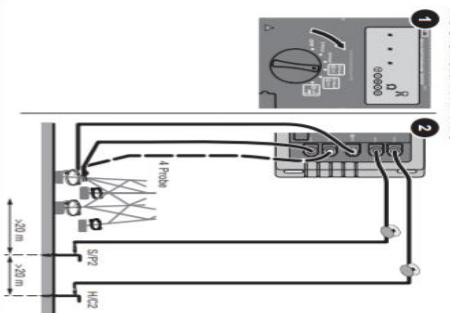
R₃-Pole Selective Earth Resistance with Current Clamp



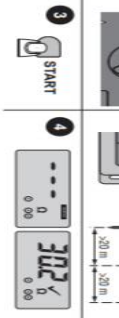
Stainless Ground Loop Measurement



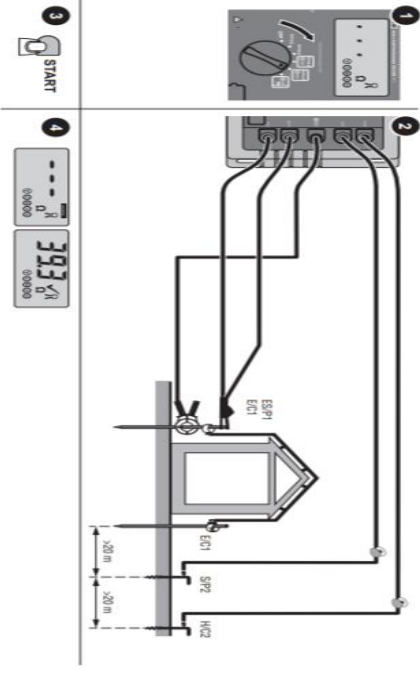
3-Pole/4-Pole Earthing Resistance without Disengaging the Overhead Earth Wire



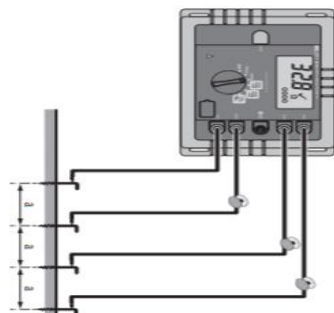
R₃-Pole Measurement



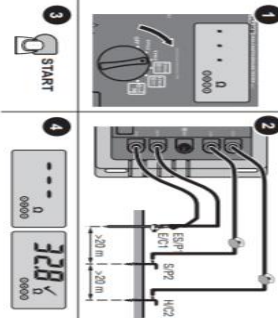
R₄-Pole Selective Earth Resistance with Current Clamp



Soil Resistivity



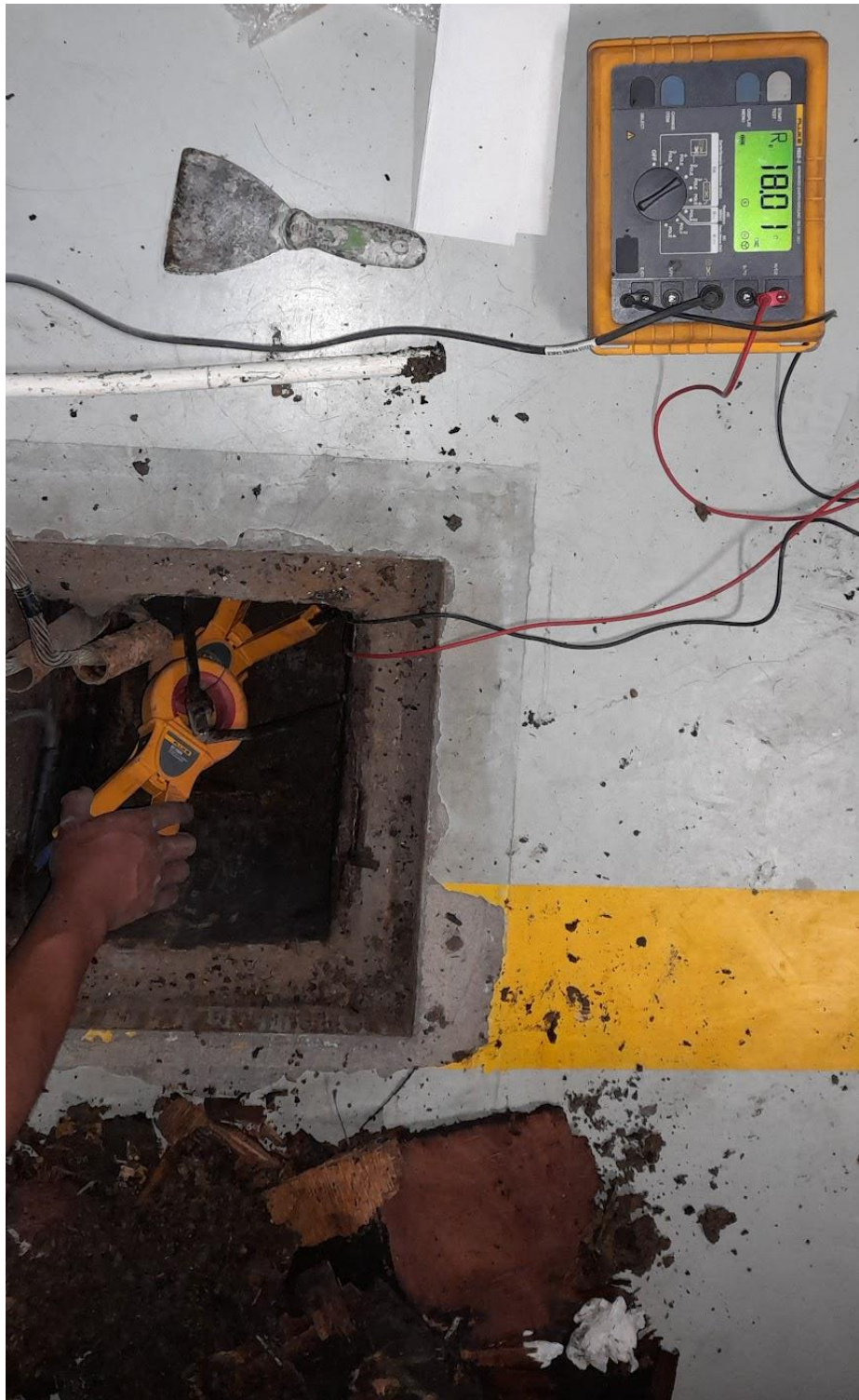
R₄-Pole Measurement



Anexo P. Mediciones de las resistencias de las mallas del hospital.



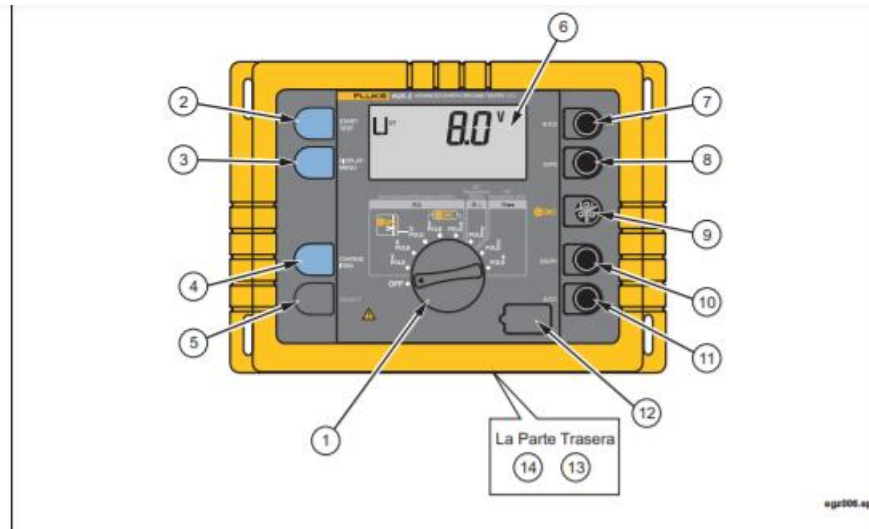
Anexo Q. Medidas de las resistencias en el subsuelo



Anexo R. medición de la resistencia de la malla parte exterior del HGONA.



Anexo S. Tabla de funciones del telurómetro FLUKE.



Nro.	Descripción
①	Interruptor giratorio para alternar las funciones de medición y de Encendido/Apagado
②	Botón "INICIO" para iniciar la función de medición seleccionada
③	Botón "MOSTRAR MENÚ" para seleccionar el ajuste o mostrar los datos de la prueba
④	Botón "CAMBIAR ELEMENTO" para alternar el valor del ajuste seleccionado
⑤	Botón "SELECCIONAR" para confirmar el valor del ajuste
⑥	Pantalla de cristal líquido (LCD)
⑦	Conexión "H/C2" para masa auxiliar (4 mm ø)
⑧	Conexión "S/P2" para sonda (4 mm ø)
⑨	Conexión para detectar pinza de corriente de prueba
⑩	Conexión "ES/P1" para sondas de electrodos de masa (4 mm ø)
⑪	Conexión "E/C1" para el electrodo de masa/tercera que se va a medir, (4 mm ø)
⑫	Puerto USB tipo B
⑬	Compartimento para baterías con capacidad para 6 baterías alcalinas (tipo AA, LR6)
⑭	Tornillos para fijar la batería en el compartimento

Anexo T. Área de diseño de la malla.



Anexo U. Fijación de la piola para referenciar el clavado de las picas.



Anexo V. Medición en línea recta con el método de Wener



Anexo W. Costo referencial 1

Tabla 25. Cálculo del costo referencial 1

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad unidad</i>	<i>Costo unitario [USD]</i>	<i>Costo referencial [USD]</i>
Cable desnudo de cobre # 4/0 AWG 19 hilos	80 [m]	14.11	1128.8
Varilla de copperweld de 5/8 de pulgada de diámetro, de 2.4 m de longitud.	6	46.58	279.48
Soldadura exotérmica	19	3.57	67.83
Cable desnudo de cobre # 4/0 AWG 19 hilos	121.47 [m]	14.11	1713.94
		TOTAL_1	3190.05

Anexo X. Costo referencial 2

Tabla 26. Cálculo del costo referencial 4

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad unidad</i>	<i>Costo unitario [USD]</i>	<i>Costo referencial [USD]</i>
Gel aditivo para sistemas de puesta a tierra	9	25	225
Conductor de cobre desnudo 3/0 AWG	325.97 [m]	10.21	1217.4
		TOTAL_2	1442.4

Anexo Y. Costo referencial 3

Tabla 27. Cálculo del costo referencial 3

<i>Descripción</i>	<i>Cantidad unidad</i>	<i>Costo unitario [USD]</i>	<i>Costo referencial [USD]</i>
Mano de obra			
Técnico instalador malla a tierra	1	350	350
Ayudante instalador malla a tierra	1	300	300
Herramienta			
Materiales varios (moldes, suelda exotérmica)	1	145.5	145.5
Excavadora	1	120	120
Herramienta menor	1	50	50
		TOTAL_3	965.5

El costo del proyecto total será de la suma de la cantidad de los totales 1,2,3 respectivamente.

Costo referencial de implementación del proyecto: \$ 5597.95

Anexo Z. Nivel isocerámico del país

